

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO



Tesis:

“Aplicación de Metodología DMAIC para la reducción de defectos en la liberación de producto terminado”

Que se presenta para cubrir parcialmente los requisitos
necesarios para obtener el grado de

INGENIERO INDUSTRIAL

Presenta:

Ignacio Agustín Franco Alucano

Director de tesis:

M.I. Julián Israel Aguilar Duque

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA LA
REDUCCIÓN DE DEFECTOS EN LA LIBERACIÓN DE
PRODUCTO TERMINADO”**

TESIS

Para obtener el grado de INGENIERO INDUSTRIAL que presenta:

IGNACIO AGUSTÍN FRANCO ALUCANO

Aprobada por el siguiente comité:

M.I. JULIAN ISRAEL AGUILAR DUQUE

Director de tesis (Presidente)


DR. DIEGO ALFREDO TLAPA MENDOZA
Miembro del comité (Vocal)


DR. ULISES JESUS TAMAYO PEREZ
Miembro del comité (Vocal)


M.C. VÍCTOR MANUEL JUÁREZ LUNA
Miembro del comité (Vocal)


M.I. GUILLERMO AMAYA PARRA
Miembro del comité (Secretario)

Ensenada Baja California, México. Mayo de 2018.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A mi familia, amigos y maestros que a pesar de los millones de tropiezos que he tenido, y cantidades infinitas que tuve de renunciar, siempre me apoyaron para seguir adelante y lo siguen haciendo.

ÍNDICE

RESUMEN:	7
CAPÍTULO 1	8
1.1 Introducción	8
1.2 Descripción de la empresa	8
1.3 Departamento de calidad	10
1.4 Antecedentes del problema.....	10
1.4.1 Planteamiento del problema	11
1.5 Preguntas de investigación	12
1.6 Hipótesis	12
1.7 Objetivos.....	12
1.7.1 Objetivo general.....	12
1.7.2 Objetivos específicos	12
1.8 Delimitación	13
1.9 Limitaciones	13
1.10 Justificación	13
CAPÍTULO 2	14
2.1 Introducción	14
2.2 Marco teórico	14
2.3 Marco contextual	16
2.3.1 Un análisis del método Six Sigma DMAIC desde la perspectiva de solución de problemas.	16
2.2.2 Un método para la estimación de la influencia de herramientas de manufactura avanzada en la competitividad de empresas manufactureras de textiles en Centro América.	19
2.2.3 Metodología Six Sigma: Reducción de defectos en proceso de negocios.....	21

2.2.4 Más allá de la Mejora de las tolerancias y las variaciones del proceso entre Lean y Six Sigma.	22
2.2.5 La mejora continua de los sistemas de gestión del conocimiento utilizando la metodología Seis Sigma.....	24
2.2.6 Mejora de la calidad continua de Control estadístico de Procesos	26
2.2.7 Aplicación de Control Estadístico de Procesos en la Industria Manufacturera en un país en desarrollo.	28
2.2.8 Control Estadístico de Procesos como Servicio: Un caso de Estudio Industrial.	30
2.2.9 Marco para la mejora continua de los procesos de producción y rendimiento del producto.	31
2.2.10 Barreras para la mejora continua: Percepciones de los altos directivos, mandos intermedios y trabajadores.	33
2.2.11 Mejora continua detrás del pensamiento Lean	35
2.2.12 Modelo para apoyar los esfuerzos gerenciales en la mejora continua: Caso de estudio en ingeniería de producto.	36
2.2.13 Estandarización – una de las herramientas de la mejora continua.....	39
2.2.14 La mejora continua a través del análisis del conocimiento guiado en la experiencia de retroalimentación.....	42
2.2.15 Usando la metodología Seis Sigma para mejorar el proceso de montaje en una empresa de automóviles	45
 CAPÍTULO 3	 46
DEFINICIÓN DEL PROCESO DMAIC	47
 CAPÍTULO 4	 50
4.1 DESARROLLO DEL MODELO	50
4.1.1 Descripción del formato “Rechazos de Calidad”	50

CAPÍTULO 5 64

DISCUSIÓN 64

CONCLUSIONES 66

RECOMENDACIONES..... 67

CITAS Y REFERENCIAS 68

RESUMEN:

El presente proyecto emplea la metodología de Six Sigma, la metodología implementada en los procesos de producción ayuda a optimizar el proceso y permite mejorar la calidad en los productos que se encuentran de salida, es decir, productos terminados dirigidos al cliente.

La herramienta Six Sigma en el proceso de la liberación del producto se efectúa al realizar la aplicación de la metodología DMAIC por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve and Control). Con la ayuda de la metodología, se logró obtener una mejora en la empresa al crear formatos para el control y supervisión del producto, y métricos que otorgan información sobre la cantidad de productos defectuosos (PPM) obtenidos dentro de un periodo de tiempo.

Palabras clave: DMAIC, SIX SIGMA, PARETO, PPM, CALIDAD

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Durante el desarrollo del presente capítulo se exponen la información asociada al marco de referencia, en el cual se explica el medio ambiente al que pertenece la organización, se expone la problemática a resolver, así como, el objetivo general, los objetivos específicos, las preguntas de investigación, las hipótesis, las delimitaciones y limitaciones.

1.2 Descripción de la empresa

La empresa en la cual se realiza el presente proyecto, hoy en día es líder mundial en la fabricación de luminarias para el sector industrial. La mayoría de sus productos son utilizados en diferentes áreas de la industria, como: en almacenes, procesamiento de alimentos, productos para la construcción, seguridad, conservación en cámara frigorífica, señales de vehículos, torres de vehículos, torres de comunicación, lugares peligrosos como: gases y petróleo, tratamiento de aguas residuales, entre otros.

Fue fundada en 1938 en Nueva York. En este tiempo, se manufacturaba luces indicadoras para paneles de instrumentos utilizados en aeronaves, vehículos motorizados y aplicaciones para industria pesada.

Hoy en día, es una empresa dentro de la industria de fabricantes componentes electrónicos en Ensenada, Baja California. La organización está ubicada en Lirios S/N. Desde su fundación en el año 2001. Ha estado a la vanguardia y operando seis años más de los que las empresas en su giro operan en México.

Algunos de los departamentos conformados en la empresa son: Recursos Humanos, Ingeniería, Manufactura, Calidad, Contabilidad, Planeación y Seguridad e Higiene. Cada departamento cuenta con sus objetivos generales y específicos. A continuación, describiremos la función de cada departamento integrado en la empresa de forma general y el departamento de calidad será definido de forma específica por ser el departamento donde fue presentado el proyecto de mejora.

Departamento de Recursos Humanos El departamento de recursos humanos es el que se encarga de muchas tareas relacionadas con el personal de la empresa. El reclutamiento de personal, selección con el proceso para contratar al personal ideal, contratación y capacitación del mismo.

Departamento de Ingeniería: Tiene como función principal, la transformación de insumos o recursos (energía, materia prima, mano de obra, capital, información) en productos finales. En este caso el departamento de Ingeniería junta sus operaciones junto a las de manufactura. El objetivo del departamento de Ingeniería es llevar a cabo una base de datos donde los procesos de ingeniería se encuentren documentos, es decir, los ensambles de los productos cuenten con instrucciones de operación, puntos críticos, puntos de calidad, tiempos de proceso y diagramas de proceso.

Departamento de Manufactura: Departamento encargado de prevenir los problemas o en su defecto, resolverlos en el momento que surjan dentro de la línea de producción. El objetivo es el llevar paso a paso las instrucciones de operación de cada número de parte para lograr exitosamente el ensamble planeado.

Departamento de Contabilidad: Cuenta con la función de instrumentar y operar políticas y procedimientos necesarios para garantizar los registros de operaciones financieras, presupuestos y consecución de metas para apoyar la toma de decisiones, promover eficiencia y eficacia en la gestión de proyectos llevados a cabo por la empresa.

Departamento de Planeación: Analizar, Validar y Dar seguimiento al programa operativo de la compañía, permitiendo un control en las entradas y salidas del material para lograr la operación del producto y la entrega al cliente.

Departamento de Seguridad e Higiene: Controla las actividades de seguridad y e higiene, estableciendo normas y desarrollando planes y programas, supervisando la ejecución de los procesos de producción y las actividades administrativas con el fin de garantizar la prevención de accidentes.

1.3 Departamento de calidad

La empresa cuenta con un departamento de calidad encargado de trabajar por la mejora y aseguramiento en el cumplimiento de las especificaciones indicadas por el cliente. Para cumplir con los requerimientos de calidad, la empresa cuenta con la certificación de ISO 9001:2015. En esta certificación se establecen los parámetros para la implementación de un sistema de gestión de calidad encargado de asegurar el cumplimiento de la política de la empresa, la cual es “*verificar que las especificaciones del producto se cumplan*”.

El departamento de calidad obedeciendo al estándar internacional de este tipo de áreas, está encargado de la creación y administración de documentos relacionados al proceso de calidad (métricos de calidad, acciones correctivas, riesgos de calidad, puntos críticos, voz del cliente, reportes de discrepancias, entre otros), y de brindar un buen entrenamiento al personal involucrado en los procesos de producción, la verificación de material y la participación dentro de las líneas de producción para la correcta implementación de los puntos críticos de calidad.

1.4 Antecedentes del problema

El departamento de calidad en la empresa se encarga de supervisar los procesos, los sub-ensambles, los productos terminados, el funcionamiento de las piezas ensambladas y su correcto empaque. También es el departamento encargado de establecer una toma de decisiones respecto a la disposición que se le brindará a un producto defectuoso encontrado y verificado por las inspectoras de calidad dentro del proceso de inspección final. Es responsabilidad de los ingenieros de calidad determinar una acción correctiva para el o los problema (s) presentado (s) en momentos de incidencia. Dentro de los controles y herramientas se cuenta con el formato de liberación de producto (Rechazos de Calidad) que es utilizado para identificar y tomar medidas de acción preventiva, es decir, una acción el cual evite que el problema vuelva a presentarse.

Los mayores problemas que se presentan dentro de las diferentes áreas de la empresa están asociados a la mano de obra. Sin embargo, existen otros tantos, por ejemplo: faltante de etiquetas, faltante de manual, ensamble incorrecto, faltante de tornillo, faltante de hardware.

Problemas que muchas veces, son detectados hasta que el producto es inspeccionado dentro del muestreo realizado por la inspectora de calidad para su posterior liberación. La Figura 1.1 presenta un esquema con los estadísticos de los defectos detectados en la inspección final del producto.

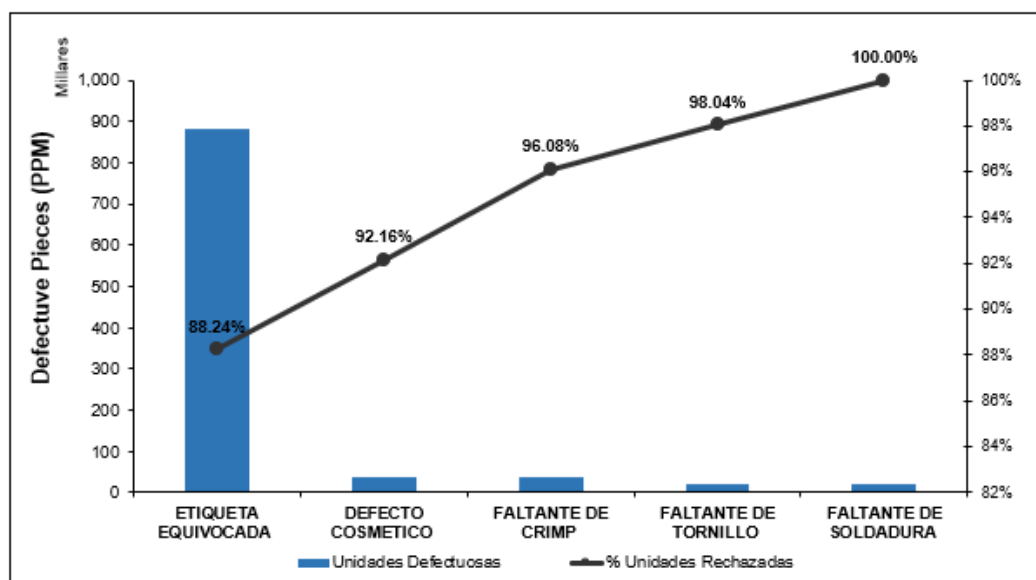


Figura 1.1: Defectos detectados en la inspección final del producto.

1.4.1 Planteamiento del problema

El problema principal reside en la falta de importancia que se le tiene a los “pequeños detalles” que son detectados dentro del muestreo que realiza el inspector de calidad. El personal de la empresa llega a tomar como “pequeños detalles” a problemas de una solución rápida, lo cual es una manera errónea de determinar un problema. Un problema es un problema por más pequeño o grande que sea, por lo cual, se debe tener una cultura de medidas preventivas para evitar el más mínimo retraso.

En el caso que se encuentra una pieza defectuosa, ¿Qué se quiere decir?, Quiere decir que, si se encuentra una pieza defectuosa dentro del muestreo, se rechaza el lote completo que está por liberar y, al rechazarlo, el material se regresa, el cual se deberá re-inspeccionar y re-trabajar, causa que va directamente relacionada con el atraso de la producción programada.

1.5 Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es la causa raíz del incremento de quejas del cliente?
2. ¿Se realiza el muestreo correctamente conforme la Instrucción de Operación para la inspección final de piezas?
3. ¿Existe un registro que permita verificar las liberaciones de material realizadas?
4. ¿La empresa cuenta con algún indicador de riesgo que permita conocer la cantidad de piezas rechazadas en la inspección final contra la cantidad de piezas producidas?

1.6 Hipótesis

H1: La calidad de la inspección de los procesos de producción no han sido auditados debidamente y el personal no ha recibido un entrenamiento continuo.

H2: El muestreo indicado no es realizado debidamente por los inspectores de calidad a falta de un formato de registro de liberación de material.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

El objetivo es disminuir las partes por millón (PPM) a un 0.05% que son generadas por las diferentes áreas de la planta aplicando diferentes métodos para prevenir discrepancias. Algunas de las soluciones que se tiene para evitar el aumento de rechazos es el efectivo entrenamiento al operador para cumplir con su operación de una manera correcta, brindar entrenamiento a los inspectores de calidad de los diferentes turnos para lograr obtener “un freno” en la salida de material defectuoso y, obtener el compromiso de los ingenieros de calidad de las diferentes áreas para aportar cambios de mejora continua a sus respectivas áreas.

Reportar semanalmente las fallas obtenidas de los productos terminados en PPM de las áreas para lograr acciones preventivas y evitar situaciones similares que generen material discrepante.

1.7.2 Objetivos específicos

- Diseñar una base de datos la cual será capturada por los inspectores de calidad con el material liberado día con día.

- Realización de métricos semanales, con los detalles obtenidos en los diferentes reportes generados.
- Retroalimentación y contacto con los inspectores de calidad, supervisores de línea, ingenieros e implicados en la elaboración de los diferentes productos de las líneas para tener tanto acciones correctivas como preventivas.
- Implementar o mejorar instrucciones de operación para la realización del producto.
- Brindar capacitación a los inspectores de calidad y brinden un debido soporte a los operadores.

1.8 Delimitación

El objetivo de este proyecto son las diferentes líneas de producción que se encuentran distribuidas dentro de la empresa.

1.9 Limitaciones

Este proyecto se llevará a cabo, con un horario establecido de 7:00 AM a 11:00 AM, Dado que solo se prestará servicio 200 horas, el tiempo en la planta es poco, ya que, el formato se realiza en ambos turnos que trabaja la empresa, y el tiempo en planta es mínimo comparado con el servicio que prestan los operadores y los turnos establecidos en planta.

1.10 Justificación

La necesidad de construir un indicador de riesgo que identifique el producto defectuoso para lograr su reducción. El proyecto presentado es basado en la falta de interés de la reducción de rechazos de calidad, ya que no existe una base de datos con información de las liberaciones generadas para llevar un control en la realización de acciones correctivas y preventivas.

CAPÍTULO 2

2.1 Introducción

Durante el desarrollo del presente capítulo se exponen la información asociada al marco teórico, en el cual se explica el contexto del desarrollo del proyecto, es decir se presenta un análisis de las publicaciones más recientes asociadas a la metodología DMAIC. Con parte fundamental del proyecto, se describe también el marco teórico el cual presenta las referencias de la investigación publicadas en libros de texto.

2.2 Marco teórico

En el desarrollo del presente proyecto se exponen los antecedentes de W.E. Deming el cual ha puesto de manifiesto, a través de diversos ejemplos reales, que la mejora de la calidad produce una reacción en cadena, ya que disminuyen los costes de producción pues se generan menos desperdicios, menos re trabajos, se pierde menos tiempo en fabricar productos de baja calidad y se utilizan mejor los equipos y los materiales. Mejora la productividad al producirse más piezas correctas y a menor coste en el mismo tiempo. Con la mejora de la calidad y la disminución del coste se mejora la relación entre precio y calidad, y, en consecuencia, aumenta la competitividad ganándose cuota de mercado. Aumenta el volumen de ventas y el rendimiento económico de la empresa. Garantizándose, de esta forma, la pervivencia de la empresa y el mantenimiento de los puestos de trabajo (Deming, 1986).

SixSigma (SS) es una herramienta de medición de defectos y mejora de la calidad, y fue diseñada para hacer que las empresas sean tan exitosas como sea posible en el ahorro de desperdicios. Su objetivo es el proporcionar procesos de clase mundial, confiables y con valor para el cliente. SS es una técnica para monitorear defectos y mejorar la calidad, una metodología para reducir el nivel de defectos por debajo de los 3.4 defectos por millón. SS proporciona un método para administrar las variaciones de proceso que causan defectos (definidos como desviaciones inaceptables del objetivo o media) y sistemáticamente trabajan hacia el manejo de las variaciones para eliminar esos defectos (Subramaniam, 2007).

SS se puede definir como:

- Una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.

- Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora de desempeño.
- Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

La meta de SS es ayudar a la gente y a los procesos a que aspiren a lograr entregar productos y servicios libre de defectos. La noción “cero defectos” no aplica; SS reconoce que hay siempre lugar para los defectos, aun en los mejores procesos o en el mejor producto. Pero con un nivel de funcionamiento correcto del 99.9997%. SS fija un objetivo donde los defectos en muchos procesos y productos son prácticamente inexistentes.

En un nivel más práctico y gráfico (ver figura 2.1), SS ayuda a los directivos a contestar dos preguntas esenciales para poder dar soporte a decisiones y soluciones basadas en datos:

¿Qué datos/información realmente necesito?

¿Cómo usamos esos datos/información del modo más ventajoso?

Según Pande y Hoop (2002), un documento en el que se esté trabajando DMAIC normalmente incluye:

Un plan de negocio: ¿Por qué se ha elegido esta oportunidad?

Declaraciones del problema/oportunidad y objetivos: ¿Cuál es el problema específico o el daño que queremos solucionar, y qué resultados buscamos?

Limitaciones/hipótesis: ¿Qué limitaciones se aplicarán al proyecto y qué expectativas de recursos hemos hecho?

Ámbito: ¿Cuánto del proceso y/o del rango de cuestiones a tratar está incluido en el proyecto?

Protagonistas y papeles: ¿Quiénes son los miembros del equipo?

Plan preliminar: ¿Cuándo se completará cada fase del DMAIC?



Figura 2.1: Proceso DMAIC.

2.3 Marco contextual

2.3.1 Un análisis del método Six Sigma DMAIC desde la perspectiva de solución de problemas.

El método DMAIC (Definir, Medir Analizar, Mejorar (Improve) y Controlar, por sus siglas en inglés) a menudo se describe como un enfoque para la resolución de problemas. Es también un apoyo metodológico para la identificación de posibles causantes de problemas debido a una incoherencia o estructura de técnicas limitada, sin una guía estratégica para asegurar la eficiencia de búsqueda de diagnósticos.

Para Linderman (2003), Six Sigma es “un método organizado y sistemático empleado para una mejora estratégica en el proceso y el desarrollo de un nuevo producto y/o servicio basado en métodos estadísticos y científicos que busca hacer una reducción dramática en los defectos definidos por los clientes”. Además, de que el enfoque y la estructura están basados en métricos.

La estructura del procedimiento de mejora de SS es vista como una novela y una contribución efectiva al manejo de calidad. El procedimiento de mejora es generalmente conocido por el acrónimo DMAIC el cual es una función similar a su predecesor en la resolución de problemas de manufactura mejor conocido como Planear, Hacer, Verificar, Analizar (del inglés Plan-Do-Check-Analyze) y el método de siete pasos de Juran y Grina (Balakrishnan, 1995).

Dentro de la teoría de las rutinas organizacionales, DMAIC es una metarutina (Schroeder, 2008). El fenómeno SS no se refiere a un único método claramente delineado, más bien se refiere a una colección relacionada de prácticas en organizaciones, tales como los cursos SS impartidos a profesionales, libros de texto escritos por consultores y proyectos e iniciativas de mejora emprendidos bajo la bandera de SS.

De Koning y De Mast (2006) realizaron una reconstrucción a la metodología de SS como un sistema de prescripciones, ellos establecen los siguientes cuatro elementos del método:

- Un modelo de función y propósito para el método.
- Un modelo base (DMAIC) que proporcione un procedimiento paso a paso.
- Una colección de técnicas.
- Conceptos y clasificaciones, tales como características de Puntos de Calidad o Críticos de Calidad (Critical to Quality) y la distinción entre el poco vital y las muchas causas triviales.

De diferentes fuentes, las funciones del DMAIC, los pasos y las acciones prescritas se han reconstruido de la siguiente manera:

Construcción del procedimiento DMAIC después de De Koning y De Mast (2006).

Definir: Selección del Problema y Análisis de Beneficio

1. Identificar y hacer un diagrama relevante del proceso.
2. Identificar las partes interesadas.
3. Determinar y priorizar las necesidades y requerimientos del cliente.
4. Realizar un caso de negocios para el proyecto

Medir: Trasladar el problema a una forma medible, y medir la situación actual; redefinir definiciones de los objetivos

1. Seleccionar uno o más puntos críticos de calidad (CTQs).
2. Determinar definiciones operacionales para los puntos de calidad y los requerimientos.
3. Validar el sistema de medición de los puntos críticos.
4. Evaluar la capacidad actual del proceso.
5. Definir objetivos.

Analizar: Identificación de los factores de influencia y causas que determinan el comportamiento de los puntos críticos de la calidad.

1. Identificar los factores potenciales de influencia.
2. Seleccionar los factores con influencia vital.

Mejorar: Diseñar e implementar los ajustes al proceso para mejorar el rendimiento de los puntos críticos de calidad.

1. Relaciones entre las variables (Xs) y los CTQs.
2. Diseñar acciones para modificar el proceso o configuraciones de los factores de influencia en camino a la optimización de los CTQs.
3. Realizar corridas piloto de las acciones de mejora.

Control: Verificación empírica de los resultados del proyecto y ajuste del proceso de sistema de gestión y control de las mejoras en base a las mejoras sean sostenibles.

1. Determinar la nueva capacidad del proceso.
2. Implementar planes de control.

La literatura de la resolución de problemas ofrece varios modelos paso a paso para el proceso de resolución de problemas, tales como:

Osborn-Parnes (Evans, 1997):

1. Encontrar el desorden.
2. Investigación de los hechos.
3. Búsqueda de problemas.
4. Búsqueda de ideas.
5. Encontrar la solución.
6. Aceptación.

March and Simon (MacDuffie, 1997):

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1. Identificación del problema. | 3. Búsqueda de solución. |
| 2. Diagnóstico. | 4. Implementación. |

MacDuffie (1997)

- | | |
|--|--|
| 1. Definición del problema. | 4. Prueba y evaluación de soluciones. |
| 2. Análisis del Problema. | 5. Mejorar o desarrollar una nueva rutina. |
| 3. Generación y selección de soluciones. | |

El método más específico de la tarea, el soporte más útil puede proporcionar problemas dentro del rango, pero solo será dentro del rango por los cuales la pieza es aplicable.

Se entiende que dentro de la metodología de SS es común que las tareas con mayor dominio por el personal cuenten con una variación reducida de desperdicio, especialmente de los procesos de manufactura. Las causas son referidas como fuentes de variación y control de variación de manera inherente al método DMAIC. Con el tiempo la metodología se comenzó a utilizar para tareas más generales como mejora de la calidad, mejora de eficiencia, reducción de costos, y otras prácticas de gestión de las operaciones, y más allá de la fabricación también era aplicada a los servicios, cuidados de la salud y tipo de operaciones hospitalarias.

En el caso de la resolución de problemas, un problema bien estructurado es generalmente descrito como a pesar de que uno de lo que el solucionador de problemas no sabe la solución, al menos sabe cómo acercarse a ella. Problemas rutinarios entran a esta categoría, por lo que los objetivos y limitaciones son claros y para los que el solucionador puede aplicar una solución previamente conocida. En caso de que el problema se encuentre mal estructurado para tratar de encontrar una solución que el solucionador desconoce, y hay una falta de claridad sobre el problema a abordar, normalmente el proceso de resolución de problemas implica una búsqueda de objetivos por una representación útil del problema o de un enfoque eficaz.

DMAIC es utilizado comúnmente para un dominio específico de elaboraciones detalladas de proyectos genéricos, sirven como moldes para problemas de rutina, convirtiéndolas en problemas de lista de verificación bien estructuradas.

2.2.2 Un método para la estimación de la influencia de herramientas de manufactura avanzada en la competitividad de empresas manufactureras de textiles en Centro América.

Ocampo, Hernández-Matías y Vizán (2017), aseguran que la competencia que representa para las empresas por la globalización ha obligado a que las maquiladoras busquen formas de reducir sus costos, mejoren la calidad de sus productos, agranden su variedad de producto y proporcionen entregas fiables para convertirse en una empresa más competitiva.

Uno de los temas más abarcados dentro de la competitividad es el identificar las herramientas que son utilizadas en las empresas para mejorar su rendimiento tales como el costo, calidad, flexibilidad, tiempos de entrega, innovación y protección al medio ambiente. Estos recursos en ocasiones son referidos a tecnologías de hardware y software que son utilizados para el diseño, producción y control del producto. Mientras que otras metodologías se refieren más a las prácticas, procedimientos, técnicas y conocimientos utilizados para gestionar y mejorar.

Los sistemas avanzados de tecnología en la manufactura han estado aplicando mecánica, electrónica y sistemas basados en computadoras para lograr un diseño de producto y a la vez operar y controlar la producción. Algunos de los notables ejemplos de estas tecnologías es el Diseño Asistido por Computadora (del inglés Computer Asisted Design, CAD), Manufactura Asistida por Computadora (CAM), y control numérico computarizado (CNC), sistemas de almacenamiento y recuperación automática (ASRS) e inspección óptica automatizada (AOI), los recursos de planificación de materiales y planificación de recursos empresariales.

Dentro de la década de 1980 y 1990 un grupo de metodologías de mejora centradas en las operaciones de la empresa, se concentraron en la mejora de procesos e introdujeron en la industria manufacturera. Algunas de las metodologías son el Sistema de Lean, Gestión de Calidad Total (TQM), SS, Lean Six Sigma (LSS) e ingeniería de procesos de negocios (BRP), por mencionar algunos. Algunas de las herramientas Lean más utilizadas incluyen los Mapas de Flujo de valor (del inglés Value Stream Mapping (VSM)), 5-s, Kanban, SMED, Poka-yoke, Mantenimiento Preventivo Total (TPM), control visual y cuadros de mando.

En la gestión de la calidad total su principal conjunto de prácticas es la herramienta de control estadístico de proceso (SPC), la utilización de Poka-Yokes, círculos de calidad, despliegues de la función calidad y diseño Robusto. En caso de SS la herramienta principal es un procedimiento de mejora o ciclo llamado DMAIC. La herramienta DMAIC conecta diferentes herramientas tales como el SPC, gráficos de control, pruebas de significancia, Análisis de Varianza (ANOVA), diseños de experimentos (DOE), análisis de modo y fallo, despliegue de la función de calidad, entre otros.

Algunas de las herramientas de manufactura avanzada que son utilizadas en la industria cuentan con cierta categorización el cual es descrito a continuación dentro de la Tabla 2.1 y 2.2:

Tabla 2.1: Modelo Preliminar de Factores de competitividad de Manufactura.

Modelo Preliminar de Factores de competitividad de Manufactura		
Costo Capacidad de Utilización Alta productividad laboral Baja Producción/Costo Manufactura Reducción de Inventario Eficiencia de Producción	Calidad Alta conformidad con especificaciones del producto final Libre de Defectos Calidad percibida por cliente Costo del control de calidad	Flexibilidad Alta flexibilidad de producción que permite nuevos productos Cambios rápidos a diseños. Tiempo de Set-up (costo)
Tiempo de Entrega Pequeños cambios Corto plazo de ejecución de la producción Justo a tiempo Tiempo de Manufactura	Protección Ambiental Procesos de producción con apoyo al medio ambiente Prevenir daños al medio ambiente	

Tabla 1.2: Herramientas de Manufactura Avanzada.

Herramientas de Manufactura Avanzada (tecnología y metodología)	
Diseño e Ingeniería CAD (Diseño Asistido por computadora) CAM (Manufactura Asistida por Computadora) CAE (Ingeniería asistida por computadora) CAPP (Planeación del Proceso asistido por Computadora) PLM (Administración del ciclo de vida de productos) FMEA (Análisis de modo y efecto de falla) DOE (Diseño de Experimentos)	Administración ERP (Sistema de planificación de recursos empresariales) MRP (Planificación de los requerimientos de material) MES (Sistemas de Ejecución de Manufactura) SCM (Administración de la Cadena de Suministro) CRM (Administración de Relación con Cliente)
Manufactura Automatizada CNC (Control Numérico Computarizado) PLC (Control Lógico Programable) FMS (Sistema Flexible de Manufactura) ASRS (Sistema de Recuperación y Almacenamiento Automático) Código de Barras	Mejora de Proceso SPC (Control estadístico de Proceso) TQM (Administración total de la calidad) Jidoka DMAIC VSM (Mapas De Flujo de Valor) TPM (Mantenimiento Productivo Total) JIT

La competitividad de fabricación en plantas de ensamble puede ser estimados utilizando cuatro factores: Costo, Protección Ambiental, Tiempos de Entrega y Flexibilidad. Al parecer, se seleccionaron estos cuatro factores porque los expertos de la industria consideraron que eran los atributos que ganan las órdenes de los clientes. A pesar de que la calidad es importante para los clientes hasta el punto de

considerarla como “calidad garantizada”, desde los resultados de una encuesta se pretende que se considere que se posee un nivel de calidad alto dentro de los procesos y, por ende, en los productos por lo que lo vuelve una empresa competitiva.

En la actualidad, las entrevistas realizadas con diferentes gerentes han revelado que se encuentran evaluando el uso de soluciones de prueba y error a través de la automatización parcial en operaciones específicas que podrían ayudarlos a evitar el desperdicio y agregar agilidad a las necesidades presentadas.

La muestra analizada para hacer uso de las herramientas automatizadas avanzadas de fabricación presenta un efecto positivo dentro de los factores que se utilizar para aplicar la competitividad en la fabricación. Soluciones dirigidas a la automatización parcial, reducción del tiempo y de desperdicio de material, y la adicción de agilidad en procedimientos repetitivos.

2.2.3 Metodología Six Sigma: Reducción de defectos en proceso de negocios.

SS es una metodología basada en datos para reducir defectos dentro de un proceso en general. La base principal de la metodología es que se puede medir que tiene muchos defectos o fallos de cualquier negocio o proceso, se puede encontrar la manera de eliminar sistemáticamente. En términos estadísticos, la variabilidad o el nivel de sigma de un proceso en el cual existen seis desviaciones estándar dentro del análisis entre la calidad media del proceso y el nivel de calidad de la especificación del cliente. Sigma es una medida del número de veces en el que un proceso es defectuoso o no, por cada millón de iteraciones o unidades de producción. Cuanto mayor sea el número de sigma, menos será el número de defectos.

Algunas de las claves para la correcta implementación de SS son:

- Centrarse en las causas de los grandes problemas.
- Capacitación al personal.
- Realizar una recolección de antecedentes al dato a analizar, para llevarlo a cabo ya que las cosas pueden empeorar antes de mejorar.
- Establecer claramente lo que constituye el éxito desde el principio.

Esencialmente SS debe adoptar un enfoque equilibrado para la gestión de calidad con algunos factores, los cuales algunos pueden ser:

1. La comprensión de las necesidades del cliente.
2. La reducción de la variación en los resultados del proceso.
3. Simplificación de procesos (Procesos menos complejos, conducen menos errores).

Las claves del reto:

Seis SS de adaptación a cualquier sector, cultura y un proyecto en específico.

Factores de Adaptación:

- Idioma: Muchas empresas no piensan términos de defectos minimizando, sino que hablan de la solución de problemas. Al tratar de conseguir la minimización de quejas de cliente o reducir el tiempo muerto, la mejora de productividad, eliminando o no el valor agregado a la actividad.
- Cambio de Estilo de Gestión: Referido a la implementación visto en la teoría aplicada a la vida real, el temor de que la metodología no aplique correctamente como es visto en la teoría.
- Capacitación: El realizar entrenamiento va de la mano con el trabajo del proyecto en ejecución. La teoría es importante, pero no hay nada como aplicarlo en un proyecto real para llevar a cabo los retos y beneficios de un programa de SS bien orientado y apoyado.

Dentro del detonante del generar un proyecto SS DMAIC está el cuantificar el costo de mala calidad mediante la asignación de cada proceso de producción y la medición de sus indicadores clave, por ejemplo, midiendo el número de quejas de cliente. La metodología puede ser aplicable a diferentes niveles, dependiendo del resultado deseado. Una sola persona puede hacerse responsable de la mejora de punto crítico de calidad (CTQ) característica del proceso. Como alternativa, un enfoque puede ser la reducción de límites dentro de los rangos de especificación del cliente para aumentar la calidad del producto. Un análisis dentro de la etapa de Medir de la metodología DMAIC determinará la causa raíz de cada defecto en el sistema y desarrollar un plan para corregir los defectos dentro del proceso, ya sea mediante un análisis de Pareto aplicando 80/20, histograma, diagrama de Ishikawa, por mencionar algunos.

2.2.4 Más allá de la Mejora de las tolerancias y las variaciones del proceso entre Lean y Six Sigma.

La gestión de las especificaciones del producto, las variaciones del proceso y las inspecciones de calidad es fundamental para cualquier empresa de fabricación y tolerancias, las cuales representan la forma de especificar los límites a la geometría y dimensión, entre otros parámetros. Las tolerancias óptimas son importantes para el correcto funcionamiento del producto, en forma correcta en los procesos de ensamble, la selección de los pasos a seguir o instrucciones de trabajo, estrategias de inspección y métodos de fabricación, y por lo tanto puente de varios pasos en el ciclo de vida del producto. La falta

de coherencia entre el diseño de productos, la fabricación y la inspección puede conducir a algún problema de calidad.

Los estándares dimensionales y de tolerancia se pueden interpretar como un “lenguaje general” para comunicar los límites de especificación del cliente. Zhang (1997) declara: “Un puente entre el diseño y la fabricación, son las tolerancias funcionales las cuales son absolutamente necesarias”. “Las tolerancias son críticas para la producción y rendimiento del producto de éxito durante su ciclo de vida”.

La inspección del producto es un elemento crucial para lograr una calidad necesaria. Calidad y eficiencia son paradigmas actuales, tales como TQM, Sigma Lean, SS, las cuales hacen cierta medida de gestión de las variaciones de dirección en la fabricación y la calidad de inspección.

Se sabe que la metodología Lean es una filosofía que promueve mejoras continuas con sus raíces en la industria automotriz japonesa, SS es otra estrategia para la resolución de problemas y mejoras en la Ingeniería con sus raíces en la industria electrónica junto a las iniciativas de mejora que se han implementado se han logrado mejorar la calidad del producto, el flujo del material, una reducción de residuo y gracias a la filosofía de cero defectos que implica la necesidad de comprensión y reducción en la variación del proceso de fabricación.

Como una contribución a cerrar la brecha entre el diseño de productos, la fabricación, las actividades de inspección y el rendimiento del producto, se ha presentado un modelo denominado Ingeniería de Tolerancia a Bucle Cerrado, el cual se integra por:

1. Requisito de definición funcional
2. Definición de tolerancias
3. Capacidad de Producción
4. Rendimiento Funcional

El modelo CLTE incluye varios participantes ya que puede ser considerado como un modelo de trabajo homogéneo. La necesidad de cooperación a través de fronteras funcionales dentro de desarrollo de productos. En un contexto típico CLTE los participantes serán diseñadores, líderes de proyecto, gerente de calidad, ingenieros de proceso, operadores de fabricación entre otros.

El modelo CLTE puede ser un modelo para aumentar la conciencia de la colaboración de las tolerancias y es una contribución con un enfoque en los elementos de la ingeniería para lograr un producto eficiente.

La falta de herramientas o la aplicación incorrecta de las mismas puede evitar que las decisiones sean las adecuadas para la problemática a resolver.

Las prácticas que se encuentran relacionadas con los campos en los cuales los participantes se reúnen en intercambio de información y conocimientos adquiridos en el uso de herramientas, el intercambio de información es normalmente puesto en práctica dentro la aplicación de la metodología DMAIC en el proceso de Medición, donde se realiza una lluvia de ideas para atacar la problemática.

2.2.5 La mejora continua de los sistemas de gestión del conocimiento utilizando la metodología Seis Sigma

El conocimiento en la composición de datos e información se considera como una mayor comprensión de una situación, relaciones, fenómenos, teorías y reglas. Un acceso fácil a los datos y documentos pueden ayudar a reducir los ciclos de desarrollo y los plazos de entrega. Por lo tanto, la gestión del conocimiento consiste en creación, almacenamiento, recuperación, transparencia y reciclado del conocimiento que se ha convertido en un instrumento importante para mejorar la ventaja competitiva entre empresas.

SS, una estrategia de calidad centrada en el cliente y basada en datos, es una metodología rigurosa y sistemática que utiliza la información recopilada y el análisis estadístico para medir y mejorar el rendimiento. La filosofía de SS es mantener un proceso dentro de sus límites los cuales son delimitados por los clientes y por el mismo proceso por lo que casi no se producen defectos. Con el fin de mejorar el rendimiento de recuperación del conocimiento.

El mecanismo de evaluación es una herramienta eficaz para facilitar el proceso de recuperación conocimiento más robusto y, por lo tanto, asegurar un rendimiento satisfactorio en apoyo de la resolución de problemas.

SS fue desarrollado por Motorola en la década de 1980 con el foco en la aplicación de entornos de fabricación. SS ha recibido considerablemente atención en las empresas globales para generar el máximo beneficio de negocio y una ventaja competitiva. SS se define como un método organizado y sistemático para la mejora de procesos estratégicos y de nuevos productos y el desarrollo de servicios que se basa en métodos estadísticos y científicos para hacer reducciones dramáticas en las tasas de defectos. Un proceso SS conlleva como objetivo la reducción de defectos en el cual se aproxima a cero defectos, con solo 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO) para un defecto que se produzca. La metodología permite a los profesionales eliminar con precisión los problemas que se presentan y demostrar las mejoras utilizando herramientas estadísticas, como diagramas de control y diagramas de Pareto.

El proceso DMAIC se define de la siguiente manera:

1. Define: Núcleo que se centra en los resultados que se buscan, establecimiento de límites y recursos, metas y planes de comunicación, y la identificación de los clientes y sus necesidades.

La evaluación de la recuperación de conocimientos se puede dividir en dos tipos: el rendimiento del sistema y la satisfacción del usuario.

2. Medición: Recopilación de datos para validar y cuantificar el problema y encontrar una oportunidad con los objetivos de establecer prioridades y toma de decisiones. El modelo de evaluación mide los defectos generados actualmente en relación con el proceso de recuperación del conocimiento. En este paso es estimar el rendimiento en función de la relevancia de los requisitos de conocimiento y el conocimiento recuperado. El Objetivo de un sistema de recuperación de conocimientos es proporcionar los conocimientos más relacionados para satisfacer los requerimientos del cliente.
3. Analizar: Encontrar las causas fundamentales mejorando la comprensión del proceso y el problema e identificar la causa detrás del problema. Define las causas potenciales de los defectos, cuando la medición cae más allá de los límites de control, la función de diagnóstico o análisis en el mecanismo de evaluación de recuperación de conocimiento proporcionará sugerencias para que los desarrolladores de sistemas encuentren la causa raíz para ajustar el sistema de recuperación de conocimiento. Normalmente dicho estudio utiliza el diagrama de Ishikawa o diagrama Causa-Efecto para identificar las causas importantes que influyen el rendimiento de recuperación de conocimiento. Las causas importantes se pueden dividir en tres factores: calidad de la reposición de conocimiento, conocimiento de la arquitectura del mapa, conocimiento del requerimiento de complejidad. El conocimiento es dinámico.
4. Mejorar: Desarrollar soluciones y modificar problemas y declaraciones de objetivos para reflejar los descubrimientos. La función de esta fase es el mejorar el análisis en la estructura del análisis del mapa para definir la estructura del producto.
5. Control: Asegurar un impacto a largo plazo sobre la forma de trabajar por las ayudas de desarrollar el proceso de seguimiento para cambios que se han propuesto y creado. Monitorear la evaluación propuesta no significa el mejorar el proceso, significa el controlar y darle seguimiento a los pasos del DMAIC ya establecidos anteriormente, conllevándolo a un estándar de proceso.

La propuesta de mecanismo de evaluación de recuperación del conocimiento acerca del tema, que consiste en la medición del rendimiento, monitorea y emite un diagnóstico para controlar continuamente la calidad del conocimiento dentro del proceso de recuperación. Si la tasa de rendimientos está por encima del límite de control superior, el mecanismo de evaluación se activará en función de revisión para ajustar la recuperación de conocimiento del sistema para mejorar la precisión (Lin et al, 2013).

2.2.6 Mejora de la calidad continua de Control estadístico de Procesos

La cuestión básica en una organización orientada a la calidad es a qué nivel estamos en condiciones de satisfacer las expectativas de los clientes. Si se definen las expectativas de los clientes, es necesario cuantificar cómo somos capaces de satisfacer estas expectativas. Un producto que debe ser adecuado para su uso debe ser producido en un proceso estable, lo que significa que el proceso debe ser capaz de producir el producto con una variabilidad aceptable de índices de calidad indicados en términos de su declarado objetivo. El principio básico de la mejora de procesos se basa en la suposición de que la variabilidad de los valores del índice de calidad tiene dos tipos de causas:

- Causas aleatorias: son una parte permanente del proceso e influye en todos los componentes del proceso. Crean una amplia variedad de causas no identificables de forma individual, de la que cada uno contribuye ligeramente hacia la variabilidad general.
- Causas definidas: son causas que no son una parte permanente del proceso, que no influyen en todos los componentes del proceso, pero se producen como consecuencia de las circunstancias específicas. Inducen cambios reales en un proceso, reflejados en la fluctuación natural de los datos utilizados para la evaluación de la variabilidad del proceso.

Es posible asegurar y mejorar la calidad en la etapa de producción a través de la denominada gestión de la calidad, que incluye todos los métodos y las actividades operacionales centrándose en el seguimiento de los procesos y la eliminación de causas de no conformidad y defectos en todas las etapas del ciclo de vida de un producto. Una parte decisiva de la gestión se centra en el proceso en sí mismo, es decir, en la compañía de producción o el departamento de producción va enfocado en la producción que es el ensamble o la unión de las distintas partes del componente para lograr un producto final. No es posible mejorar la calidad durante el proceso de producción. Debido a que las especificaciones y parámetros de producción ya han sido definidos, esto se aplica generalmente en procesos de transformación integrados por entradas-salidas. Sin embargo, si no se cumplen los requisitos y

condiciones en las etapas de preproducción, generalmente la consecuencia es la disminución de calidad del producto.

Control Estadístico del Proceso (del inglés Statistic Process Control (SPC)): Una manera de generar un análisis de resultados son los gráficos de control son la herramienta más frecuente utilizado en la regulación estadística del proceso. Estos permiten la distinción precisa del impacto o requerimiento del producto en valor de una marca de calidad, es decir, que facilitan la regulación y la mejora de la calidad del proceso. Cuando la aplicación de gráficos de control es adecuada, se supone que el comportamiento del proceso es caracterizado por uno o varios valores cualitativos. Llamamos a estos valores regulados. Los gráficos de control se utilizan en el control de procesos, cuando existe la determinación de la necesidad de lograr cambios en el proceso a fin de lograr un mejor valor de la media del proceso anterior, la Figura 2.1, presenta el ejemplo de un diagrama de control.

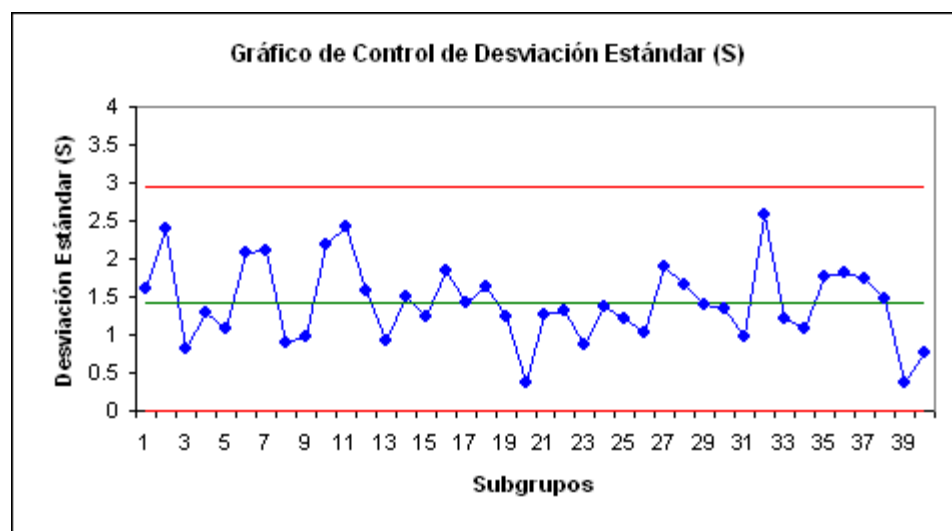


Figura 2.1: Ejemplo de un gráfico de control.

La distancia de los límites de control de la línea central es igual a la desviación estándar de tres de las características de la muestra. Por distribución normal de características de calidad y bajo la suposición de que el proceso de producción se mantiene estadísticamente dentro de los límites. Los límites superior e inferior son determinados por la especificación del cliente (interno o externo).

Otra manera de generar un análisis de los resultados obtenidos en algún estudio es por medio del histograma de distribución de frecuencias, el cual representa en forma gráfica el procesamiento de los resultados de un conjunto de mediciones. En términos de la gestión de la calidad se refiere principalmente

a la distribución de la frecuencia de valores de calidad o los valores relacionados con los factores de producción que influyen en la calidad de los productos.

La combinación de herramientas como lo son los gráficos de control, el SPC, DMAIC, histogramas, diagramas de Pareto son muy adecuados para la consecución de los objetivos deseados de mejora de la calidad y de manera eficiente puede ayudar a resolver problemas de proceso para la mejora de calidad (Gejdoš, 2015)

2.2.7 Aplicación de Control Estadístico de Procesos en la Industria Manufacturera en un país en desarrollo.

Madanhire y Mbohwa (2016), indican que la clave para llegar a ser una empresa competitiva dentro del mercado se distingue en la capacidad de superar las necesidades y expectativas del cliente; así como proporcionar en forma requerida un producto de calidad a bajo costo y tiempo de entrega correcto. La literatura sobre la aplicación del SPC se concentra principalmente en el desarrollo de herramientas estadísticas como gráficos de control. Sin embargo, la aplicación de la metodología SPC en la organización.

El SPC es la aplicación de métodos estadísticos a la supervisión y control de un proceso para asegurar como opera su potencial para producir un producto conforme. Un producto conforme se entiende cualquier producto dentro de las características requeridas por el cliente. Bajo SPC, un proceso se comporta de manera predecible y comienza a producir productos conformes con el menor gasto posible. Algunas de las herramientas clave para el SPC son los gráficos de control, mejora continua y diseño de experimentos (DOE).

Las variaciones en el proceso que pueden afectar a la calidad del producto pueden ser detectados y corregidos, lo que reduce los residuos, así como la probabilidad de que salga producto defectuoso de la planta; si se logra detectar el defecto del producto antes de su salida de la planta se evita la llegada del producto defectuoso al cliente y por lo tanto evitaríamos una queja de cliente.

Es eficaz para el control estadístico de procesos el tomar un enfoque preventivo para prevenir situaciones fuera de control y así obtener un proceso ajustado de una manera en la que menos artículos no conformen sean producidos.

Algunos de los pasos claves para la aplicación del SPC son los que se muestran en la Figura 2.2.

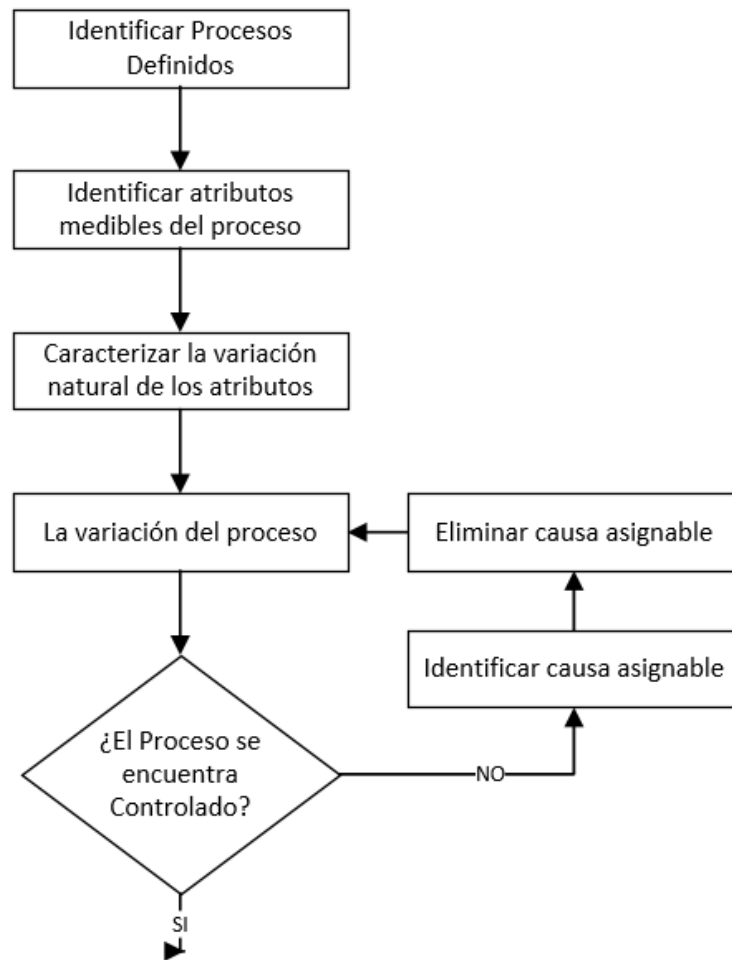


Figura 2.2. Pasos para la aplicación del SPC.

Normalmente el proceso de SPC en la fabricación tiende a concentrarse en pocos procesos. Así que decir SPC se ha utilizado para controlar las inspecciones formales, pruebas, mantenimiento y mejora de procesos personales. Los gráficos de control son la herramienta más común para determinar si un proceso está bajo el control estadístico.

Algunas de las herramientas más utilizadas en SPC, como de distancia para explotar la variabilidad natural de los procesos como para generar un control a la hora de utilizar una aplicación de SS como el DMAIC podemos obtener la eliminación de algunas causas asignables.

Las técnicas estadísticas proporcionadas por SPC (ver Tabla 2.3) permiten optimizar la cantidad de información necesaria para la toma de decisiones, a través de líneas base, ideas para mejorar en los procesos, la comunicación de valor y resultados de los procesos y la participación, así como visible. SPC

proporciona un análisis en tiempo real para establecer líneas base controlables; aprender y establecer de forma dinámica y mejorar las capacidades del proceso.

Tabla 2.3: Herramientas de Calidad SPC.

Herramienta	Aplicación
Hoja de Comprobación	Para contar las apariciones de problemas
Histograma	Para identificar las tendencias y cualquier sesgo.
Diagrama de Pareto	Para identificar el 20% de los módulos que producen el 80% de las emisiones.
Diagrama de Ishikawa	Para identificar causas asignables
Dispersión	Identificación de la Correlación
Gráficos de Control	Identificación de los procesos que se encuentran fuera de control
Gráficos	Para mostrar visualmente los datos

Aunque las empresas son conscientes de sus principales retos, el análisis de Pareto se debe utilizar antes de que otra herramienta para identificar los problemas críticos que deben abordarse en sus operaciones.

La mala aplicación de histogramas, diagramas de control, diagramas de Ishikawa, atributos gráficos y diagramas de dispersión exige la necesidad de reestructurar las políticas de la empresa y relacionarlas al constante uso del SPC.

2.2.8 Control Estadístico de Procesos como Servicio: Un caso de Estudio Industrial.

El control estadístico de procesos (SPC) es un poderoso sistema de herramientas de resolución de problemas útiles en el logro de la estabilidad del proceso de fabricación y mejorar la capacidad a través de la reducción de variabilidad. El principal objetivo del SPC es dar una señal cuando existe algún cambio dentro del proceso, es decir, sus promedios se alejan del valor objetivo y/o aumenta la variabilidad entre sus resultados (Zhang, 2011).

El enfoque del control estadístico de procesos en el servicio se encuentra en los gráficos de control con estadística, herramientas y representación gráfica de línea de resultados en tiempo real. La herramienta normalmente utilizada para los servicios es el eSPC (electronic SPC system) en el cual permite un enfoque más organizado de manera digital en el cual se crea como un bloque de construcción de peso ligero y de bajo costo que puede actuar como un reemplazo de SPC de papel y documentación en las empresas.

La razón principal para el uso de gráficos de control es de gestión de calidad, la cual es a menudo solicitada por los proveedores o los clientes de negocios. Esto incluye tanto la producción de productos de calidad, así como la generación de la documentación apropiada.

En el análisis de eSPC se puede utilizar para la monitorización y gestión de la producción en su sentido más amplio. Este tipo de información es interesante para los operadores del proceso de producción, gerentes, personal de calidad, supervisores, etc.

2.2.9 Marco para la mejora continua de los procesos de producción y rendimiento del producto.

A lo largo del análisis adentrándose al mundo de la industria podemos encontrar varios problemas a los cuales las empresas que fabrican hoy en día se enfrentan, algunos de los más comunes es el encontrar un proceso de producción fiable, determinar el fallo de la calidad en un producto, pérdidas financieras, el retraso de la entrega del producto, etc. A menudo las empresas no entienden las causas raíces de los problemas y no se adentran a realizar un análisis al respecto.

Los problemas o dificultades en la creación de algún producto conllevan distintos aspectos tales como la calificación laboral inadecuada, las condiciones de trabajo, tecnología obsoleta, suministro de material, etc. Esto conduce a la reducción de eficiencia de la empresa y como resultado esto causa una queja de cliente dentro de nuestra empresa.

Conceptos básicos:

Indicadores de clave de rendimiento (del inglés Key Performance Indicator (KPI)): La medición de cualquier actuación en los negocios es al principio importante porque muestra el desempeño actual y el deseado. Los KPIs seleccionados muestran donde tomar medidas con el fin de mejorar el rendimiento. KPI ayuda a una organización para definir y medir el progreso hacia los objetivos.

Tarjeta de producción de ruta (PR): Tarjeta que da detalle de una operación a realizar en un proceso de producción. Se utiliza para instruir a la gente de producción para asumir el trabajo de producción. Por lo general contiene un elemento, piezas a producir, tiempo de ciclo, puntos críticos, etc. El fin de las tarjetas de producción es que el operador pueda adoptar el proceso de producción.

Análisis de Modo de falla y efecto: método para identificar y prevenir problemas de producto y de proceso antes de que ocurran. Se centra en la prevención de defectos mejorando la seguridad. El riesgo de fallo y sus efectos dentro del análisis del modo efecto y falla o FMEA (del inglés Failure Mode Effect Analysis) se encuentran determinados por tres factores:

- Severidad: consecuencia de la falla que pudiera ocurrir durante el proceso
- Ocurrencia: Probabilidad o frecuencia del fallo que produzca
- Detección: Falla detectada antes del impacto del efecto realizado

Cada modo de falla potencial y la causa está valorada en estos tres factores en una escala del 1 al 10. Al multiplicar estos valores se genera un número de prioridad de riesgo RPN. Se utiliza para clasificar la necesidad de acciones correctivas para eliminar o reducir posible causa de fallos.

Seis Sigma DMAIC: SS utiliza herramientas analíticas utilizadas para medir la calidad y eliminar las variaciones dentro de los procesos. El objetivo de SS es producir cerca de productos y servicios el satisfacer de los clientes. SS es un enfoque de gestión basado en los proyectos destinados a mejorar los productos, servicios y procesos de las organizaciones mediante la reducción de defectos y, se centra en la mejora de los requisitos del cliente.

Tiempos de entrega de fabricación: Tiempo de entrega es una unidad de medida utilizada en la fabricación de un producto, lo que indica la cantidad del tiempo que se necesita para iniciar y terminar algo.

Teoría de Restricciones (del inglés Theory of Constraints: TOC): Es una metodología multifuncional que se desarrolló para ayudar a las personas y organizaciones a pensar en los problemas del sistema que se utilizan para desarrollar soluciones innovadoras y ponerlas en prácticas. El propósito del TOC es la mejora continua, se centra en el proceso que ralentiza la velocidad de rendimiento del producto.

El TOC ayuda a identificar y elevar la restricción del sistema de producción y a su vez aumenta los pedidos de producción y rendimiento del KPI. Con el fin de disminuir el tiempo de ejecución y reducir los fallos o eliminarlos por completo.

La visualización gráfica del proceso permite entender mejor los fracasos y ver la posibilidad de mejora o eliminarse dentro del proceso. El aplicar un mini DMAIC al realizar un análisis al proceso

consiste en definir el objetivo de estudio, Medir el proceso de mejora mediante la asignación de fallos del FMEA y evaluación de fallos, Analizar los procesos y decidir dónde y qué acciones correctivas son necesarias para llevar acabo. Mejorar el proceso; aplicar acciones correctivas.

Un nuevo marco para la mejora continua de proceso de producción permite una mejora en el rendimiento del producto y la entrega del producto al cliente. El diagrama Swimline o de despliegue es un mapa de proceso que separa los pasos del proceso por función, departamento o individuo. Esto proporciona una visualización que muestra no solo los pasos en un proceso, sino también qué individuos, grupos o departamentos realizan esos pasos. Para analizar el proceso es necesario construir un diagrama Swimline con los datos, el cual permite obtener un análisis el cual identifica las fallas más críticas en el departamento de restricción, con tarjetas PR, con el FMEA o con los análisis de datos realizados (Jevgeni, Eduard y Roman, 2015).

2.2.10 Barreras para la mejora continua: Percepciones de los altos directivos, mandos intermedios y trabajadores.

La mejora continua como cultura, herramienta y métodos es fundamental para la posición competitiva de las empresas de fabricación. La investigación tiene como respuesta que no todos los planes de mejora continua pueden ser efectivos, en el sentido de no cumplir las metas y expectativas. Mientras que los sistemas de mejora continua mal diseñados o utilización equivocada de las herramientas y métodos pueden explicar la falla de algunos planes de mejora continua. Encuestas y sondeos de expertos indican que las principales barreras para el éxito de mejora continua son de organización y gestión. Algunos de los casos de investigación han resaltado que los altos directivos atribuyen el éxito limitado a las deficiencias de los sistemas de información y métodos de mejora, los trabajadores apuntan principalmente al apoyo y compromiso de gestión de procesos, además de otros factores de organización tales como motivación y trabajos en equipo.

El Sistema de Producción Toyota (*Toyota Production System (TPS)*) es por mucho considerado como el punto de referencia mundial en programas de mejoramiento de producción. Los estándares de calidad es un enfoque sistemático para la solución de toda la organización conocida como mejora continua (CI, por sus siglas en inglés *Continuous Improvement*).

CI se puede definir como una cultura de mejoras sostenidas, dirigidas a la eliminación de los residuos en todos los sistemas y procesos de una organización. Algún cambio que ocurre mediante

cambios o mejoras o a través de mejoras radicales en base a una nueva tecnología o ideas innovadoras. CI también puede considerarse como una serie de enfoques, herramientas y técnicas para la búsqueda y eliminación de residuos y la mejora de la calidad. Algunos de los enfoques más conocidos son:

- Gestión de la calidad total (*Total Quality Managment*)
- Seis Sigma
- Lean Six Sigma
- Entre otros...

La naturaleza de mejora continua tanto la manufactura estadounidense y japonesa han jugado un papel importante con la evolución de la mejora continua. Hoy en día la mejora continua es un principio básico, independientemente de que tipo de sistema de gestión ha elegido la organización.

Bhuiyan y Baghel (2005), declaran que el CI puede ocurrir a través de mejora incremental y a través del cambio radical. Mejora incremental se refiere a la mejora pequeña y gradual, mientras que el cambio radical se refiere a mejoras en base a las ideas innovadoras o nuevas tecnologías que pueden requerir inversiones.

Los diferentes eventos pueden desencadenar iniciativas de IC:

- Primer tipo de iniciativa: Se produce cuando hay una desviación de un estado deseado, dando lugar a una declaración de un problema bien definido a resolver.
- Segundo tipo de iniciativa: Se produce cuando no hay ninguna desviación, pero todavía se ve la oportunidad de mejora a través del pensamiento creativo.

En la literatura, la gestión, compromiso y participación se destacan como importantes factores de éxito en la aplicación y realización de la mejora continua. La experiencia de la decepción y el fracaso en los planes CI se deriva principalmente de la falta de comprensión de la dimensión del comportamiento. Demasiado énfasis en las herramientas y las metodologías implementadas, el factor humano y patrones de comportamiento que surgen en el lugar de trabajo.

La composición y estructura del equipo de mejora son cruciales para el éxito, y uno debe de estar bien informado sobre el enfoque a la mejora continua y los puntos de mejora del proceso a mejorar.

Normalmente, un equipo de CI se establece para resolver un problema específico y el quipo incluye personal que tiene la competencia y el mandato necesario para lograr la mejora deseada. Las personas que trabajan con la mejora de los problemas específicos deben ser las mismas personas que normalmente tratan con estas cuestiones dentro del proceso.

Una mejora continua se logra mediante la aplicación de una serie de métodos y técnicas. Si los objetivos son reducir los residuos, optimizar el flujo de proceso de fabricación y mejorar la calidad del

producto, un enfoque sistemático ayuda a que el equipo de mejoramiento de estancia se centró en la finalización de la iniciativa de mejora mediante la realización de pasos predefinidos hasta la satisfacción del objetivo.

Se puede determinar que los empleados en diferentes niveles jerárquicos perciben barreras de mejora continua diferentes. Comúnmente los altos directivos atribuyen el éxito limitado a deficiencias de los sistemas de información y métodos de mejora y que los trabajadores apuntan principalmente para apoyo y compromiso limitado de gestión.

Además, otros factores de organización tales como falta de implicación, motivación y trabajo de equipo. Los mandos medios reconocen dos grupos de barreras, pero tienden a estar más de acuerdo con los trabajadores. Los altos directivos también deben fomentar activamente el seguimiento y recompensar el uso apropiado de los métodos de la mejora continua.

2.2.11 Mejora continua detrás del pensamiento Lean

Holtskog (2013), asegura que la mejora continua es la piedra angular del pensamiento Lean. Sin embargo, los procesos de mejora de operaciones se han realizado a lo largo del tiempo antes de que el concepto “Lean” se introdujera en la agenda de las organizaciones. Es importante recalcar que el desarrollo y crecimiento histórico de este concepto, se puede entender a través de la síntesis realizada por Holtskog, en la cual concentra la respuesta de más de 600 entidades de la industria de Noruega.

En su investigación Holtskog, agrupa los conceptos más importantes del Lean en las siguientes preguntas:

- ¿Qué tan bien conoce los objetivos de mejora de la compañía?
- ¿Qué tan bien conoce los objetivos de mejora de su departamento?
- ¿Ha participado en preparar las metas?
- ¿Siente que las mejoras en las metas le han llevado en la dirección correcta?
- ¿Siente alguna influencia por las metas de mejoramiento?
- ¿La administración invita al diálogo y la participación para el resto de la organización?
- ¿Es la administración visible y participativa en la mejora del trabajo?
- ¿Las sugerencias de mejora son tomadas en serio por la administración?
- ¿Se hacen esfuerzos por seguir las mejoras?
- ¿Las mejoras son apoyadas por los altos directivos?

Esta serie de cuestionamientos, permiten identificar el compromiso de la dirección por la mejora continua, en función del pensamiento Lean. Holtskog asegura que la mejora continua debe tener una adaptación fuerte en el trabajo real. La estandarización de las herramientas, copiadas directamente de la literatura Lean, no garantizan el éxito de las empresas. Es decir, la motivación por hacer mejoras continuas es construir un entendimiento común de las metas incentivado por el liderazgo. Para ello, es necesario contar con una perspectiva de largo tiempo, para entender las necesidades naturales de las personas y así lograr las metas o las metas orientadas. El liderazgo se basa en apoyar la orientación de los esfuerzos de acuerdo a las estrategias de la organización.

Eso significa, que una organización no puede comenzar con el desarrollo de un sistema Lean, si el involucramiento de los directivos no es consciente de las necesidades de la organización ni de la dirección en la que debe ir la empresa. Estas se manifiestan en el compromiso que los mismos manifiesten a sus subordinados.

Finalmente, la educación acerca de las herramientas de aprendizaje en un sistema Lean, hace que los involucrados entienda su trabajo de forma independiente llevándolos a la toma de decisiones autónoma, esto significa mejora continua, la cual es el fundamento de un sistema Lean.

2.2.12 Modelo para apoyar los esfuerzos gerenciales en la mejora continua: Caso de estudio en ingeniería de producto.

La globalización y la competencia a nivel mundial han incrementado la demanda y la competitividad entre las compañías. La mejora interna de los procesos para mejorar el tiempo de eficiencia y disminuir los costos se ha vuelto esencial. Los negocios y los tratos se han convertido en hablar de tiempos de entrega, y la calidad del producto y buenos servicios lo más pronto posible y con un costo competitivo (Hoem y Lodgaard, 2016).

Dentro de la Literatura, ha varias definiciones para la mejora continua. Una de las definiciones es “El proceso planificado, continuo y sistemático de mejora continua, gradual y en toda la empresa debe haber el cambio, prácticas destinadas a mejorar el rendimiento de la empresa”. Un tipo de cambio guiado a la mejora continua se centra en el aumento de la eficacia y/o eficiencia de una organización para cumplir con su política y objetivos. No se limita a las iniciativas de calidad. Mejora en la estrategia empresarial, los resultados del negocio y de clientes, empleados y proveedores.

La mejora continua (CI) desde un punto de vista en frecuencia conectado al círculo de Deming, la definición se encuentra en cuatro fases interminables Plan-Do-Check-Act (PDCA) práctico. Esta

naturaleza iterativa y repetitiva de la mejora es atribuible a varios otros métodos como DMAIC y Ford 8Ds o la gestión A3.

En una empresa, la aplicación de un plan de mejora continua, el liderazgo es responsable de crear la estrategia y la fuerza de trabajo está autorizado para diseñar e implementar las soluciones tácticas necesarias para ejecutar el plan estratégico. Esto libera el liderazgo desde el día a día, el seguimiento por lo que puede centrarse en la medición del desempeño, la estrategia y la eliminación de obstáculos operativos y al mismo tiempo, la base de conocimiento fuerza de trabajo y el nivel del cumplimiento crece exponencialmente.

La metodología de la investigación tiene como objetivo el contribuir proporcionando un modelo de apoyo a los esfuerzos de gestión en la consecución de la mejora continua duradera basada en la investigación aplicada en la acción. Reason y Bradbury (2001) definen la acción como “Proceso de consulta interactiva que equilibra las acciones implementadas para resolver problemas en un contexto de colaboración con el análisis basadas en datos o investigación para entender las causas subyacentes que permiten futuras predicciones sobre el cambio personal y organizacional”. Destacan también “La investigación-acción se trata de trabajo hacia los resultados prácticos y también en la creación de nuevas formas de comprensión, ya que la acción sin reflexión y la comprensión es ciego, al igual que la teoría sin la acción no tiene sentido”.

La dinámica para realizar análisis sobre las cuestiones de mejora dentro de un proceso de producción es el utilizar el *brainwritting* que a diferencia del *brainstorm* o también conocido como “lluvia de ideas”. A diferencia de la lluvia de ideas, el *brainwritting* se presenta durante las sesiones donde todas las ideas se registran de forma individual en post-its antes de la reunión para presentar el proyecto.

El proyecto de mejora continua se enfoca a un objetivo clave el cual se determinan dos cuestiones las cuales pueden ser cambiadas dependiendo las necesidades y la empresa, pero en enfoque puede ser útil en cualquier análisis:

- ¿Cómo puede contribuir personalmente a tener éxito en acciones de mejora continua dentro de la empresa y en el departamento en el que me encuentro?
- ¿Qué otros elementos son importantes para la empresa y el departamento en el que me encuentro?

Esto con el objetivo de sistematizar los resultados del *brainwritting*, aplicando diagrama de Ishikawa o también denominado diagrama de causa-efecto dentro de las 7 herramientas del control de calidad.

Tradicionalmente el diagrama Ishikawa es una herramienta para encontrar las causas de un problema con el problema definido en el extremo del diagrama (ver Figura 2.3)

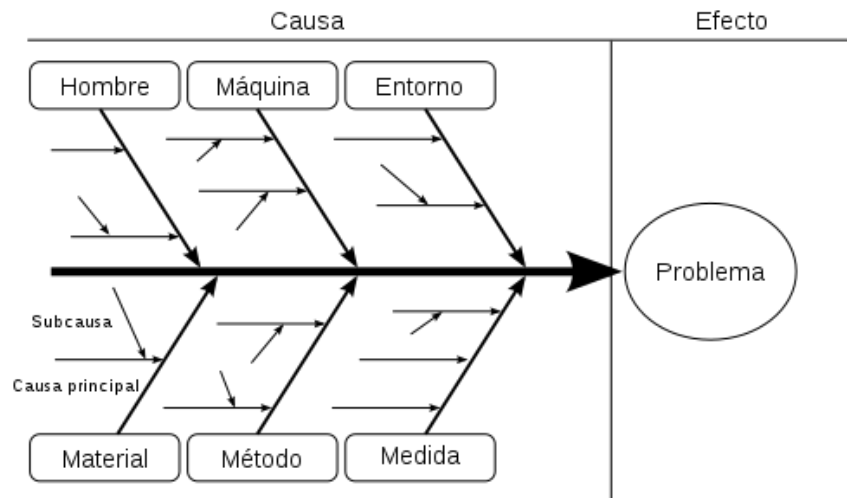


Figura 2.3. Diagrama de Ishikawa

La metodología de SS a la excelencia empresarial puede proporcionar un marco la mejora continua y aumentar la satisfacción del cliente.

La preparación para la gestión conlleva en la mayoría de los casos un modelo donde se puede determinar los elementos para lograr competencia y una mejora continua a nuestro proceso.

En la Tabla 2.4, se presentan algunos de los pasos a seguir es tener el objetivo de revisar los elementos juntos al equipo de gestión.

Tabla 2.2. 5 elementos para la gestión de mejora continua.

Elementos de explicación y consecuencias a falta de elemento	
Objetivos	Visión que expresa lo que el éxito verá una vez lograda la meta. Ver la posición actual de la empresa y la que tendrá a futuro cuando su misión y la implementación de su estrategia sea cumplida. La visión debe venir de la gestión y los objetivos generales claramente conectados. De lo contrario, la mejora continua gradualmente conducirá a confusión.
Competencia	La falta de esta competencia entre miembros del personal de inconscientemente conducirá a la falta de prioridad y progreso insuficiente.
Motivación	La participación en todos los niveles es un factor clave para tener éxito y la condición principal para la motivación es el seguimiento y apoyo de la gestión. A falta de motivación es una fuente sólida por falta de progreso.

Recursos	La gestión debe estar dispuesto a ofrecer recursos suficientes para la cosecha después de la obra de mejora. Frustración justificado por la falta de tiempo y no tener la posibilidad de realizar las actividades de mejora es síntoma típico de los recursos que faltan. Además, sin los recursos necesarios, el sistema de mejora será gradualmente de mayor distancia y perderá atención y progreso.
Estructura	Es el marco para comunicar el programa de mejora continua dentro de la empresa. Sin una estructura adecuada, solo son avances dispersos.

Se deberá tener el compromiso real por parte del equipo de gestión de forma significativa para el valor de la implementación y sostenibilidad del programa de mejora continua. Posteriormente se deberá sistematizar los compromisos, en el cual el propósito es enriquecer los compromisos y combinar los resultados presentados en los diagramas y análisis realizados.

Al continuar con el plan de mejora continua en alguna fase del análisis es recomendado el preparar una autoevaluación del equipo de gestión para reforzar el programa de mejora continua.

Para lograr ser una empresa competitiva con un proceso, calidad, manufactura y gestión competitiva es necesario el definir las amenazas y posibilidad con el cual se está dispuesto a enfrentar u obtener y para esto se debe tener muy en claro la definición y confirmación de la visión de la empresa en el cual el plan de la mejora continua es el hacer realidad la visión.

2.2.13 Estandarización – una de las herramientas de la mejora continua

Si una organización quiere tener éxito y ser competitiva, debe estar orientado al cliente, debe responder con flexibilidad a todas las necesidades y requisitos, así como los cambios rápidos e inesperados en el mercado. La organización tiene que ofrecer a sus clientes productos de alta calidad, es decir, la calidad se ha convertido en uno de los medios principales de lucha competitiva. Una de las maneras de asegurar la calidad de los productos es introducir normas de sistemas de gestión de calidad provenientes de la norma ISO 9000. En el marco de esta norma internacional es también una mejora continua. El sistema de gestión de calidad utiliza una serie de herramientas y métodos para mejorar sus operaciones.

La normalización de los procesos se caracteriza como la suma de las acciones y medidas Inter condicionales que conducen a una unificación racional de soluciones recurrentes. La normalización es

un elemento clave de la eficiencia en la fabricación. El proceso de normalización se considera la base de mejora continua. Mejorar el trabajo estandarizado es un proceso sin fin.

La estandarización es la forma en que las empresas pueden reducir sus costos (ya sea financiera o en tiempo). Es la forma en que una organización que tiene como objetivo garantizar de forma clara, visualiza y el medio ambiente para un trabajo seguro.

Todas las mejoras y los cambios en el proceso de fabricación se ha completado el desarrollo de normas. Sin estándares, hay una mejora y gestión. Las normas definen las mejores prácticas para la ejecución de la obra. El objetivo es hacer el trabajo correctamente la primera vez, sin errores, sin efectos negativos sobre los seres humanos y el entorno.

Los estándares se utilizan para:

- La reducción de la variación y la corrección de errores
- Mejora de la seguridad
- Facilitar los problemas de comunicación
- Problemas de Visibilidad
- Asistencia para la capacitación y educación
- Aumentar la disciplina laboral
- Facilitar la respuesta a los retos
- La clarificación de los procedimientos de trabajo.
- El estándar debe tener las siguientes características:
- Máximo brevedad: solo contiene las instrucciones necesarias para el proceso de operación
- Sencillez y visualización: el trabajador inmediatamente encontró fácilmente y entendió las instrucciones necesarias
- La posibilidad de cambios rápidos en los parámetros del proceso.
- La claridad que asegura que otro trabajador tiene todas las actividades pertinentes en el proceso
- Capacidad de supervisar la aplicación de las normas y su impacto en los parámetros del proceso.

Existen dos tipos de normas:

- Las normas de gestión: que son necesarios para la gestión de los propósitos de personal y administrativos.
- Las Normas de Funcionamiento: Que analiza como los empleados realizan su trabajo.

Estándares de la empresa tienen un papel para reducir al mínimo las tres áreas principales de las debilidades que incluyen (ver figura 2.4):

Sobrecarga, esfuerzo (MURI)

Desequilibrios, Desviaciones (MURA)

Pérdidas y desperdicio (MUDA)

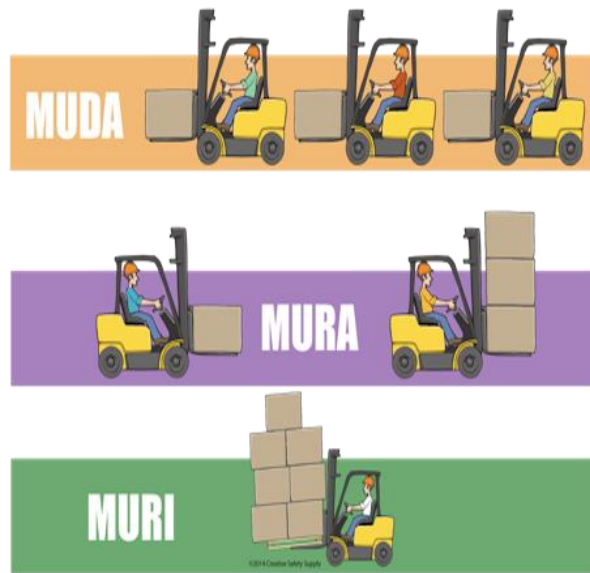


Figura 2.4: Ejemplo de Muri, Mura, Muda

Otra metodología que se utiliza dentro de la normalización es la aplicación de 5s.

El método se basa en la suposición de la organización, orden, limpieza, estandarización y disciplina en el lugar de trabajo son condiciones esenciales para la producción de productos y servicios de alta calidad.

Se caracteriza por poco o ningún residuos y alta productividad.

La metodología 5s se basa en varios principios básicos:

- Cuanto más limpio esté el lugar de trabajo, antes se podrán identificar los problemas.
- Entorno frecuente y bien organizado es más predecible.
- La estandarización y la organización del lugar de trabajo permite respuestas más rápidas.
- Comunicación sobre el estado de fabricación es más fácil.

El método 5S es la aplicación de los 5 pasos siguientes (ver figura 2.5):

1. Seiri (Sort): detección de cosas innecesarias en el lugar de trabajo y su eliminación
2. Seiton (Estabilizar): la disposición de todas las cosas que permanecen en el lugar de trabajo después del primer paso de una manera transparente.
3. Seiso (Limpieza): mantener un ambiente de trabajo limpio.
4. Seiketsu (estandarizar): implementación de estándares y la implementación continua de los pasos anteriores.
5. Shitsuke (Sustain): Disciplina, Controlar.



Figura 2.5: Metodología 5s

Los beneficios del trabajo estandarizado incluyen la documentación total del proceso actual para todos los turnos, las reducciones en la variabilidad, la formación del equipo de trabajo y la integración de nuevos operadores, la reducción de lesiones y la tensión, incluye una línea base para las actividades a mejorar. La estandarización del trabajo se suma a la disciplina a la cultura, un elemento que es con frecuencia descuidado, pero esencial. La estandarización es una herramienta de aprendizaje que apoya las auditorías promueve la resolución de problemas y consiste en los miembros del equipo en el desarrollo de poka-yokes.

2.2.14 La mejora continua a través del análisis del conocimiento guiado en la experiencia de retroalimentación.

Los productos industriales desarrollados hoy en día son cada vez más complejos e implican varias tecnologías al mismo tiempo. Por otra parte, el tiempo de diseño se ha reducido, la adición de nuevas restricciones durante las fases de pre industrialización. El intercambio de experiencias y lecciones

aprendidas de retroalimentación es una cuestión clave para mejorar el desempeño de las organizaciones con el tiempo.

En todos los casos, la experiencia del proceso de retroalimentación en las fases principales: la fase de capitalización que permite la construcción de la experiencia de retroalimentación y la fase de explotación, que consiste en la reutilización de las experiencias capitalizadas. En cognitiva la fase de capitalización puede confiarse en los métodos de resolución de problemas de uso común en el campo industrial tales como 8Ds, PDCA, SS DMAIC. Las principales actividades en el proceso de resolución de problemas son:

- La composición de los problemas del equipo de limpieza.
- La descripción y la evaluación del problema en ciertos momentos.
- El análisis de los eventos para identificar las causas y la validación del análisis técnico.
- La formulación de las soluciones de problemas y su aplicación (acciones correctivas).
- Las acciones sugieren que se prevenga una acción preventiva hacia el problema.

Para el proceso de retroalimentación se debe describir el evento, lo cual entra en un nivel de contexto. El contexto proporciona una imagen general del problema a resolver antes de entrar a un análisis a profundidad. La identificación de eventos críticos se hace a menudo por un comité multidisciplinario, para tener en cuenta los criterios de riesgo, los cuales pueden incluir costos asociados y los beneficios, los requisitos para lograr el proceso o una correcta retroalimentación.

La definición o implementación de soluciones para el problema a tratar se puede determinar al realizar un análisis de árbol comúnmente utilizado para enumerar las diversas causas potenciales y su factor de ponderación que caracteriza su grado de riesgo.

El conocimiento se refiere al conocimiento de una o varias experiencias que resume el análisis de los involucrados y el conocimiento obtenido se refiere a la medición o predicción que es obtenido por diferentes experiencias (ver tabla 2.5).

Tabla 2.3. Proceso de retroalimentación.

9s	8Ds
Acciones Inmediatas Construir equipo Definir problema Acciones de contención Identificar las causas raíz Definir y seleccionar acciones correctivas Implementar y verificar acciones correctivas Estandarizar y transferir conocimiento Reconocer equipo y cerrar	Formar equipo Definir problema Contiene problema Identificar y definir causas raíz Elija acciones correctivas Implementar acciones correctivas Prevenir la recurrencia Equipo de recompensa
Contexto - Análisis - Solución - Lección aprendida	
7 pasos	Six Sigma DMAIC
Seleccionar y describir el problema Mida el problema Análisis de las causas de raíz Seleccionar e implementar mejoras Evaluar soluciones Estandarizar y controlar Planes futuros	Definir problema Mida el problema Análisis de las causas de raíz Mejorar Soluciones de control Estandarizar

La mejora del análisis se centra en la actividad de los procesos de la experiencia de la retroalimentación, ya que las influencias tanto de los que se supone que son importantes factores causales de problemas y que tipo de acciones correctivas se proponen durante la explotación de conocimiento. Tales métodos de análisis están estrechamente relacionados con los modelos de análisis que reflejan los diferentes puntos de vista de la causalidad, la acción humana y la responsabilidad moral. Los modelos analíticos postulan enlaces de causa-efecto, mientras que los modelos sistémicos tratan problemas como fenómenos emergentes de sistemas complejos. Un modelo de tres capas para la mejora de la actividad de análisis del proceso de retroalimentación. Este modelo consiste en una capa operacional, una capa semántica y un nivel de creencia (Fagin et al., 1990).

El proceso de Análisis de Causa Raíz o RCA (del inglés *Root Cause Analysis*) implica la recopilación de datos, gráficos causa, causa raíz identificación y generación de recomendación y aplicación. Hay muchos métodos analíticos y herramientas disponibles para determinar las causas de

raíz. En el análisis de " 5 porqués " permite hasta cinco rondas de pedir " por qué sucedió algo " que se requiere para desenterrar todos los problemas subyacentes. Esto corresponde a un compromiso práctico entre la profundidad de la investigación y el esfuerzo correspondiente.

La descripción de los elementos básicos de la causa de la raíz a nivel semántico impide un análisis del modelo a ser mal interpretado y facilita los procesos de razonamiento más de las opiniones de los expertos. Por otra parte, la mejora del modelado semántico hace que sea posible identificar mejor los temas importantes para la mejora de procesos industriales.

Desde una perspectiva más global, la tecnología de la ingeniería del conocimiento implementado permite recoger y explotar el conocimiento experimental en los procesos de mejora continua de cualquier sistema complejo en el que los eventos problemáticos requieren un análisis en profundidad experto (Míkva et al, 2016)

2.2.15 Usando la metodología Seis Sigma para mejorar el proceso de montaje en una empresa de automóviles

El desarrollo y la mejora continua de los sistemas de gestión de calidad y medio ambiente serían anticipar estos desarrollos y, por tanto, satisfacer plenamente las necesidades y expectativas de cada cliente, empleado o cualquier otro interesado y mantener la ventaja competitiva. El deseo de alcanzar la excelencia empresarial en la industria automotriz asume el compromiso de la dirección para desarrollar y entregar soluciones perfectas, productos o servicios, a promover el “cero defectos” y la primera vez que la filosofía de producción derecha, la integración de la protección del medio ambiente en todas sus actividades (diseño y producción), así como la formación, la motivación y la participación de todo el personal en el esfuerzo hacia la excelencia.

Para una empresa automotriz, la política se lleva a cabo principalmente en los siguientes términos: aumentar la calidad del personal, disminución constante de los costes de no calidad, reaccionar mejor a las necesidades de los clientes y para resolver problemas, cumplimiento de la normativa para el medio ambiente, la optimización de los recursos naturales el consumo, una mejor gestión de los residuos, evitar cualquier tipo de contaminación, crónica o accidental. Se considera que la metodología SS es la manera para mejorar la calidad, reducir de residuos, ayudando a las organizaciones a producir mejores productos y servicios, más rápidos y más baratos.

SS contiene dos tipos de enfoques para la búsqueda de una mejora continua:

DMAIC

- Definir
- Medir
- Analizar
- Mejorar
- Controlar

DMADV

- Definir
- Medir
- Analizar
- Diseñar
- Verificar

DMAIC es aplicable a un producto o proceso existente para ser mejorado. DMADV es aplicable a nuevos productos o procesos, que ha diseñado y/o aplicado de una manera que proporcione un rendimiento SS.

El pensamiento estadístico relaciona los procesos y estadísticos en las siguientes ideas: la acción tiene lugar en un sistema de procesos interconectados, existe una variación en todos los procesos y es muy importante para entender el cómo tratar con la variación de la reducción, entender y utilizar las herramientas estadísticas adecuadas para un enfoque sistemático para la mejora de procesos.

Mediante la aplicación del pensamiento estadístico y la metodología DMAIC SS para el proceso se debe tomar en cuenta las herramientas tanto de software como manuales a aplicar para distinguir si se encuentran calibradas. Buscar la posibilidad de generar un poka-yoke para un proceso de medición y ensamble el cual permita realizar la tarea de manera más práctica y rápida.

La elección de un proveedor puede ayudar a la reducción de algún defecto encontrado en el proceso de producción por cuestiones de la calidad del producto. Se realiza un análisis herramientas de estadísticas tales como Diagrama de Pareto para poder lograr identificar la causa raíz de los problemas causados y lograr alguna automatización dentro del proceso mediante capacitación al personal.

CAPÍTULO 3

La metodología SS DMAIC se compone por diferentes etapas las cuales son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC por sus siglas en inglés: Define, Measure, Analyze, Improve, Control). La metodología DMAIC creada por General Electric nació para la aplicación en el área de producción de una organización, donde se esperaba un cambio de mejora significativo. DMAIC es considerado como un ciclo en el cual se pretende eliminar pasos que no son productivos y tener una cultura de mejora continua (Kwak and Anbari, 2006).

DEFINICIÓN DEL PROCESO DMAIC

Para Manivannan (2007), el proceso DMAIC se define de acuerdo con los siguientes términos.

D = Definir

Definir es la primera etapa del modelo DMAIC. El propósito de la etapa Definir es refinar el entendimiento del problema a solucionar por parte del equipo de trabajo y definir las expectativas del cliente para el proceso. Los elementos de esta etapa incluyen el problema específico a solucionar, localización y ocurrencia de los eventos problemáticos. Las preguntas por realizar en dicha etapa son las siguientes:

- ¿Quién es el cliente?
- ¿Qué es lo importante y qué es lo crítico para la calidad?
- ¿Cuál es su alcance?
- ¿Qué defectos estoy tratando de reducir?
- ¿En cuánto? ¿Cuál es la meta?
- ¿Cuál es el costo actual de los defectos?

(Manivannan, 2007)

M = Medir

La etapa de Medición establece técnicas para recolectar datos sobre el desempeño actual y que tan bien se cumplen las expectativas del cliente. Al terminar esta etapa, el equipo de trabajo tendrá un plan de recopilación de información, asegurando con exactitud y consistencia la recolección de datos, frecuencia de los defectos y datos suficientes para el análisis del problema. Esta etapa conlleva las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el proceso?
- ¿Qué indicador afecta más la calidad?
- ¿Cuál variable del proceso parece afectar más a esos indicadores?
- ¿Es aceptable la habilidad para medir y detectar?
- ¿Cómo funciona el proceso actualmente?
- ¿Qué tan bueno sería mi proceso si corriera adecuadamente?
- ¿Cuál es el nivel máximo para lo que fue diseñado el proceso?

A = Analizar

El analizar permite al equipo de trabajo el establecer las oportunidades de mejora al tener todos los datos. A través de esta etapa, el equipo determina por qué, cuándo y cómo ocurren los defectos;

Selecciona las herramientas de análisis gráfico adecuadas y las aplica a los datos recolectados y; plantea un conjunto de mejoras potenciales para aplicarse en la siguiente etapa, que es la de Mejora. Después de analizar, el equipo puede entregar un mapa de proceso detallado, un enunciado refinado del problema y estimados de la posibilidad de defectos.

Las preguntas por realizar en la etapa de Análisis incluyen:

- ¿Qué variables del proceso afectan más la calidad y hasta qué punto?
- Si cambio una variable del proceso, ¿Realmente cambio los indicadores resultantes?
- ¿Cuántas observaciones necesito para sacar conclusiones?
- ¿Qué nivel de confianza tengo respecto a mis conclusiones?

I = Improve (Mejorar)

En la etapa de Mejorar se desarrolla, implementa y valida alternativas de mejora que rectifican el proceso. Esto consiste en hacer una lluvia de ideas para generar alternativas de mejora, probar las soluciones propuestas usando corridas piloto y validando la mejora. Con esto viene la creación de un nuevo mapa del proceso para ilustrar el nuevo flujo del proceso, seguido de un análisis de costo beneficio para asegurar que la mejora potencial es viable y redituable. Por medio de la recopilación de datos y análisis del nuevo proceso, el equipo puede demostrar la validez de las mejoras. Esta etapa entrega soluciones al problema y validación de las soluciones, así como planes de implementación y comunicación.

Las preguntas para la etapa de Mejora incluyen:

- Una vez que se sabe con seguridad que variables del proceso afectan mis indicadores, ¿Cómo implemento los cambios?
- ¿Cuántas pruebas necesito correr para encontrar y confirmar las mejoras del procedimiento o ajuste para estas variables clave del proceso?

C = Control

La etapa de control institucionaliza las mejoras y el producto y, monitorea el desempeño actual a fin de obtener las ganancias logradas en la etapa de Mejora. Durante esta etapa el equipo de trabajo desarrolla una estrategia de control basada en los resultados de las cuatro etapas previas, un plan de control que incorpora los cambios en el proceso cronológicamente y un enunciado de calidad de desempeño actualizado y un plan de entrenamiento para documentar los cambios y mejoras. Las preguntas por realizar en la etapa de control incluyen:

- Una vez reducidos los defectos, ¿Cómo pueden los equipos de trabajo y yo mantener los defectos controlados?
- ¿Qué se debe preparar para mantener el desempeño satisfactorio aun cuando las cosas cambien (personal, tecnología, clientes)?

Las mayores diferencias o ventajas del DMAIC probablemente resultan ser siete puntos:

1. Medir el problema. No solo se asume el problema, se deberá comprobar el problema con hechos.
2. Enfocarse en el cliente. El cliente externo es siempre importante, incluso si usted está intentando recortar costes en un proceso.
3. Verificar la causa raíz. En el pasado, que era malo, si un equipo estaba de acuerdo en una casusa, eso era prueba suficiente. En la actualidad, que es buena, un mundo SS, usted tiene que probar esa causa con hechos y datos.
4. Romper malos hábitos. Las soluciones que resulten de proyectos DMAIC no deberían ser cambios menores en antiguos procesos. Un cambio de verdad y con resultados requiere nuevas soluciones creativas.
5. Gestionar los riesgos. El probar y perfeccionar las soluciones -descubrir sus fallos- es una parte esencial de la disciplina SS de un buen sentido común.
6. Medir los resultados. El seguimiento de cualquier solución es verificar su impacto real: una mayor confianza en los hechos.
7. Sostener el cambio. El lograr que el cambio dure es la clave final a este enfoque de resolución de problemas más progresivo.

Cuando una empresa viola requerimientos importantes del cliente, genera defectos, quejas y costes. Cuando mayor sea el número de defectos que ocurran, mayor será el coste de corregirlos, así como mayor el riesgo de perder clientes. El objetivo de aplicar la metodología DMAIC es el cumplir con la voz del cliente (VOC = Voice of the Customer). Los clientes mismos a menudo no están seguros de lo que quieren y tienen problemas con expresarlo. De modo que el equipo debe escuchar la “voz de cliente” y traducir el lenguaje de éste en requerimientos significativos (Pande y Hoop, 2002).

CAPÍTULO 4

4.1 DESARROLLO DEL MODELO

4.1.1 Descripción del formato “Rechazos de Calidad”

El reporte de Rechazos de Calidad se encuentra constituido de diferentes componentes el cual permite obtener un amplio conocimiento acerca de la localización de la discrepancia detectada en el proceso de liberación del material.

El reporte se encuentra conformado por tres pestañas las cuales contienen información relacionada una con otra. La primer pestaña cuenta con cuatro métricos (ver figura 4.6); en el cual el primer métrico es el indicador mensual y semanal del producto fabricado contra el producto defectuoso encontrado dentro del proceso de liberación de material; el segundo es el gráfico que nos ubica a la semana anterior, reportándonos las áreas con mayor tendencia en cuanto el producto defectuoso, y los otros dos gráficos serán el Pareto de segundo nivel, el cual nos ubica en las causas del rechazo de las dos primeras áreas que aportan mayor cantidad de piezas discrepantes.

Cada pestaña del documento porta un objetivo de ser, con el fin de reportar con información concreta los rechazos detectados en el área de empaque de distintas líneas que hubo dentro de la semana anterior. Dicho reporte contiene un recuadro en el cual deberá ser llenado por el ingeniero a cargo del área para aportar una solución a los problemas que fueron detectados dentro de su área dicha semana, denominadas como acciones correctivas. Cabe destacar que dicho reporte aplica en toda la planta.

Se define como un rechazo de empaque cuando el inspector de calidad realiza su muestreo de material según la instrucción de operación una vez que se encuentra empacada la pieza, es decir, dicho inspector procede al área designada para liberación de material para abrir el empaque de la pieza y hacerle una inspección visual al material junto a su respectivo acompañamiento de la pieza (es decir, instructivo, tornillos, gasket, etiquetas, etc.); si se detecta una pieza discrepante dentro de su muestreo en el cual se indica en el plan de muestreo que $C=0$, donde C es el material defectuoso, se deberá rechazar el lote completo para su posterior re-inspección.

Cabe destacar que el muestreo de empaque se realiza ya que la pieza se encuentra encima de la tarima de liberación.

Una vez especificando nuestro objetivo del detectar las fallas de liberación de material, se realiza un formato. El formato se encuentra conformado por tres secciones el cual abarca información de los rechazos de empaque.

El procedimiento para la liberación de la pieza es el siguiente:

- | | |
|--|---|
| 1. Muestreo realizado por el inspector de calidad | 3. Sello del departamento de calidad en la orden y la etiqueta de la caja |
| 2. Se anota la cantidad liberada en la orden de producción | 4. Se anota en formato la información del producto a liberar |

En un formato informal que se utilizaba antes de ser aplicado el proyecto, indicaba a llenar la siguiente información:

- | | |
|---|---|
| • El número de parte de la pieza | • La cantidad de piezas que se encuentran liberando |
| • El número de orden que se está liberando | • Fecha en la que se libera el producto |
| • La cantidad de piezas a fabricar indicadas por la orden | • Nombre de inspector que libera |

Existían varios problemas dentro del formato anterior en el cual no se habían percatado de ellos, dichos problemas surgían porque cada inspector portaba su propio diseño del formato de liberación, es decir:

1. El formato se encontraba personalizado con el nombre de cada inspector de una forma diferente dentro de las celdas.
2. Los formatos contaban con diferentes cantidades de columnas con diferente información a llenar.
3. Las celdas se encontraban distribuidas de una manera aleatoria en todos los formatos.
4. El formato, no se encontraba dado de alta en el sistema de la empresa (no era oficial).
5. La información no llegaba a ningún lado.
6. Las hojas de liberación no contenían tiempo de retención, lo cual se desechaban y la información se perdía después de cierto tiempo.

¿Cómo sé llegó a detectar este tipo de problemas? Esto debido al aumento de quejas de cliente (interno y externo) al hacer faltante de una operación o faltante de material en una pieza que fue entregado por almacén. Al presentarse una oportunidad de mejora, se implementó el formato de Rechazos de Calidad.

Primeramente, se realizó un formato estándar el cual fue utilizado por los inspectores de calidad dentro de todas las áreas de producción para la liberación de material, y así, evitar el personalizado del formato de liberación. Se prosiguió la autorización del formato al sistema como Q-219 siendo descrito como “Formato para la liberación de Producto”. El formato se encuentra de manera electrónica y física.

Una vez dado de alta, se comenzaron a realizar las capacitaciones a los inspectores de calidad, remarcando la importancia del correcto llenado de información y la innovación de transcribir la información a una plantilla del software Excel. Se distribuyó la plantilla en las diferentes máquinas para lograr la captura de información en todas máquinas ubicadas en distintos puntos de la planta, al completar una semana (Lunes-Domingo).

Al comenzar la semana se procede a retirar la información capturada por los inspectores dentro de la semana anterior, para realizar el concentrado de las liberaciones y así calcular los métricos semanales de los PPM por las diferentes áreas de la planta.

En la Figura 4.1 se obtiene la información del formato de rechazos de calidad que contiene la siguiente información:

- Línea donde pertenece el producto a liberar
- MO (número de orden) a liberar
- Número de parte a liberar
- Cantidad de piezas a liberar
- Muestreo, dividido entre cantidad de piezas aceptadas y rechazadas
- Defecto de la pieza
- DR (si aplica un reporte de discrepancia)
- Proceso / Empaque (¿Dónde se detectó la falla?)
- Inspector que liberó el producto

Con la ayuda que proporciona el software de Excel, se filtra la información a nuestra conveniencia, lo cual detecta el número de piezas ensambladas dentro de la semana, esto gracias a la columna de ‘cantidad’, al indicar la cantidad liberada, es decir, la cantidad de piezas producidas.

 ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD											
LINE	Mo	NUMERO DE PART	CANTID	MUESTRA		DEFECT	DR	PROCESO / EMPAQUE	FECHA	INSPECTOR	
				ACEPT	RECHAZ						
60K	982040	H6UGN54NSNNG	30	24	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	OLGA	
AREA LIGHT	954520	H2C8N9N	1	1	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	010640	H2D5C2GV45	8	8	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	061980	H2FFC2N	40	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	061980	H2FFC2N	40	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	061980	H2FFC2N	40	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	061980	H2FFC2N	40	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	021900	STV9C2N	3	3	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	061980	H2FFC2N	30	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	036890	STV9C2N	40	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	036890	STV9C2N	40	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
AREA LIGHT	036890	STV9C2N	14	14	0	N/A	N/A	EMPAQUE	17/04/2017	LUZ	
VEHICLE	998220	66233AB801	12	12	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	020440	48121AB803	25	25	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	004410	45003FB817	90	90	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	019930	41001AB	5	5	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	996760	41033AB	24	24	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	997720	41031AB801	126	47	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	987310	TBLGCHT13	1	1	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	987840	HLB424CB12	79	79	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	018560	15003AB	510	47	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	003800	15051FB815	12	12	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	998170	46271AB810	264	47	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	987310	45383AB	48	48	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	004370	45001FB808	1	1	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	987930	VS1VCC18M05803	10	10	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	983650	18001AB811	110	47	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	988170	46271AB810	96	96	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	018560	15003AB	15	15	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	003820	16001AB803	1	1	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	987250	45003AB	2	2	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	997720	41031AB801	74	74	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	023560	69121AB	15	15	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	987460	461212CB	20	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	020150	46263CB806	12	12	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	004520	46233FB810	17	17	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	998170	46271AB810	14	14	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	004380	45003AB	77	77	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
VEHICLE	983650	18001AB811	125	47	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
TRAFFIC	029030	4332250005L15	80	20	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
TRAFFIC	014650	4332230905L	1	1	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
TRAFFIC	029140	P463Y33003	15	15	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	
TRAFFIC	029190	P46R33003	10	10	0	N/A	N/A	EMPAQUE	18/04/2017	SILVIA	

Figura 4.1. Formato Rechazos de Calidad.

Con esta información, se genera la tabla 4.2, en el cual indica el número de piezas fabricadas contra las piezas rechazadas semanalmente, se indica el porcentaje de aceptación y el porcentaje de rechazo. Se tiene establecido que el rango de piezas rechazadas deberá ser menor o igual al 500 PPMs.

Tabla 4.2. Piezas fabricadas (aceptación y rechazo)

Monthly Trend Chart Data Entry							
Month	SIGNALS UNITS						
	Total	Accepted	Rejected	% Accepted	% Rejected	PPM	Target Rejected ≤
JAN	264,514	263,064	1,450	99.45%	0.55%	5,482	1,000
FEB	255,575	254,420	1,155	99.55%	0.45%	4,520	1,000
MAR	322,415	321,828	587	99.82%	0.18%	1,821	1,000
APR	357,522	357,228	294	99.92%	0.08%	823	500
MAY	299,003	298,758	245	99.92%	0.08%	820	500
JUN	426,932	426,417	515	99.88%	0.12%	1,207	500
JUL	346,033	345,124	909	99.74%	0.26%	2,627	500
AGO	270,106	269,848	258	99.90%	0.10%	956	500
SEP	272,154	271,874	280	99.90%	0.10%	1,029	500
OCT	-	-	-	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	500
NOV	-	-	-	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	500
DIC	-	-	-	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	500
Overall						-	500

La interpretación de la información en PPMs nos indica el nivel de riesgo que contiene la empresa en este momento en cuanto el nivel de rechazo que posee. Entre mayor sea el valor de los PPMs, mayores son los defectos que presenta y mayor es la urgencia por aplicar un método de mejora para la reducción de producto rechazado.

Se puede observar que dentro de los meses de Enero a Marzo se conservaba un target el cual era estar por debajo de los 1,000 PPMs. En esas semanas que se estuvo trabajando, poco a poco se fueron adaptando las mejoras del formato. Al llegar al mes de abril la meta se cambió a un rango más cerrado, dicha meta se redujo a 500 PPMs. Lo cual una meta así de exigente ayuda al equipo de trabajo a generar un esfuerzo para la reducción de los PPMs durante la semana.

Al recopilar la cantidad de material producido, se comienza a ramificar la información de manera en la que se comienza a separar los defectos que hubo por las líneas de operación de la planta, tal y como se muestra en las Tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3: 1er. Pareto por área (número de piezas discrepantes)

1st Level Pareto Data											
AREA	WK30	WK31	WK32	WK33	WK34	WK35	WK36	WK37	WK38	WK39	
CLASSIC	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-	
KAGUS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PMP	7	3	1	48	57	55	6	1	29	51	
TRAFFIC	58	6	-	1	122	24	24	1	101	8	
VEHICLE	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAL	65	28	2	49	179	79	32	2	130	59	

Tabla 4.4: 1er Pareto por área con PPM's y ordenado de mayor a menor tendencia.

DEFECT	YTD	%	A %	PPM
PMP	51	86.44%	86.44%	864,407
TRAFFIC	8	13.56%	100.00%	135,593
CLASSIC	-	0.00%	100.00%	-
KAGUS	-	0.00%	100.00%	-
VEHICLE	-	0.00%	100.00%	-
TOTAL	59	100%	100%	

Se generan los cálculos de la tabla 4.3 para poder lograr un métrico en el cual nos indique de una manera visual la cantidad y el porcentaje de las áreas que se encuentren aportando más defectos dentro de la planta.

Se continúa con la realización del Pareto de segundo nivel, esto se logra, detectando en el Pareto de primer nivel, las líneas que más aportan defectos a la planta, aplicando el principio de Pareto 80-20 el cual indica que el 20% de los defectos afectan al 80% de los procesos. Al Filtrar la información se detecta el defecto que se obtuvieron dentro del área en dicha semana. La explicación del inspector normalmente es muy extensa, lo que se hace es que se categorizan los defectos que son parecidos o se encuentran relacionados y se agrupan, el cual ayudan a generar la tabla con la información del Pareto de segundo nivel Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Pareto de Segundo Nivel: Defecto de piezas por área

2nd Level Pareto							
Area	DR	DEFECT	units	%	A %	PPM	ACTION
PMP	N/A	ETIQUETA EQUIVOCADA	45	88.24%	88.24%	882,353	REWORK
	N/A	DEFECTO COSMETICO	2	3.92%	92.16%	39,216	REWORK
	N/A	FALTANTE DE CRIMP	2	3.92%	96.08%	39,216	REWORK
	N/A	FALTANTE DE TORNILLO	1	1.96%	98.04%	19,608	REWORK
	N/A	FALTANTE DE SOLDADURA	1	1.96%	100.00%	19,608	REWORK
			51				

La información que indica la tabla del Pareto de Segundo nivel es:

- Área donde fueron encontrados los diversos defectos.
- Número de DR (si aplica)
- Defecto que presentan las piezas discrepantes
- Cantidad de piezas defectuosas
- Porcentaje que abarca del total de unidades de esa área.
- Porcentaje Acumulado
- PPMs (Partes por millón)
- Acción correctiva.

Como se había mencionado con anterioridad, con la aplicación y evolución del proyecto se fueron aplicando cambios al formato y por ende capacitaciones a los inspectores de calidad, en este caso, es importante mencionar al personal de calidad, ya que, en la recopilación de datos influye el factor humano, es decir, dicho proyecto comenzó dentro del mes de enero, al ser autorizado por la empresa y finalizando las capacitaciones, el cual entró en un modo de prueba (piloto), en el cual, los inspectores capturaban dentro de la semana sus aceptaciones y rechazos de material a su manera, el cual, generaba una distorsión en los datos.

Se realizaron capacitaciones formales e informales. En las cuales se puede determinar que las capacitaciones formales son aquellas que se encuentran bajo una minuta, una lista de asistencia y existe un formato de capacitación. Una capacitación informal consta de una plática de corredor, capacitando al recurso de manera inmediata. Al finalizar las capacitaciones de ambos turnos se comenzó en la aplicación de la metodología DMAIC con la orientación brindada en 2007 por Subramaniam Manivannan, quien publicó el artículo “introducción a SS” cuando era el Directo de calidad y asesor de calidad PTO en el departamento de procesos de manufactura y soporte de producto de Ford Motor Co.:

D = Definir

La definición del problema consta en determina la causa y razón del proyecto, el dejar en claro la problemática, cuál es la mejora que se quiere llegar y cuáles son nuestros objetivos a cumplir. En este caso, se encontró la problemática de la liberación de material discrepante y no se encontraba la causa de la salida de material defectuoso, el crear un formato para el control de la información y aumentar la

calidad en el muestreo de producto para la detección de material con faltante de operación. Con la definición del proyecto podemos contestar las siguientes preguntas:

- ¿Quién es el cliente?

Se trata de clientes internos los cuales son sub-ensambles que su destino es otra línea de producción dentro la misma planta para su posterior ensamble con otras partes para la realización del producto final.

Los clientes externos son a quien se le vende el producto, los cuales, ya no son parte de la empresa, son aquellos que, si el producto sale defectuoso, generan una queja de cliente o voz del cliente.

- ¿Qué es lo importante y qué es lo crítico para la calidad?

Lo importante es el entregar el producto de manera correcta, en un estado de calidad perfecto con cero defectos en el producto final. El punto crítico de calidad es el entregar un material defectuoso al cliente.

- ¿Cuál es su alcance?

El alcance del proyecto comprende solamente el material detectado con falla en el proceso de producción, es decir, desde que llega a la línea de producción y se comienza con su manipulación por las diferentes estaciones. No comprende las fallas provenientes de proveedor. Con un mayor control en el manejo de datos, el formato y la metodología podría llegar a otras plantas ubicadas en diferentes países.

- ¿Qué defectos estoy tratando de reducir?

Se le considera defecto a todo aquello que el cliente no solicita en su pedido. Los defectos que se tratan de reducir es el entregar material defectuoso a los clientes.

- ¿En cuánto? ¿Cuál es la meta?

La meta comprende en que la reducción baje de 500 PPMs encontrados dentro de la liberación de material. Es el generar una captura de datos de una manera correcta y brindar capacitación de manera informal a los operadores para lograr una mayor comunicación en el personal para así reducir los errores provenientes de la mano de obra. El objetivo es

aumentar el nivel de sigma reduciendo la cantidad de partes por millón (PPM) detectadas semanalmente y día con día.

- ¿Cuál es el costo actual de los defectos?

Dado que es aplicado a todas las líneas de la planta la estimación reside en varios factores tales como: re-trabajo de la pieza, re-inspección de la pieza, cantidad de piezas rechazadas, tiempo, costo de mano de obra y si la pieza se hizo scrap. Prácticamente se realiza una estimación de los costos al realizar una media y multiplicarlo por la cantidad de piezas rechazadas.

M = Medir

La etapa de Medición consta de la creación del formato ‘Rechazos de Calidad y el recopilar la información obtenida por los inspectores de calidad sobre la liberación de producto. Esta etapa conlleva las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el proceso?

Como se mencionó con anterioridad, el proyecto abarca todas las líneas de producción de la planta, por cual, el proceso varía dependiendo la línea de la cual se esté hablando. Existen diferentes líneas de producción, pero el enfoque va dirigido al área de señales, la cual abarca las líneas de: Classic, Kagus, PMP, Traffic, Vehicle.

- ¿Qué indicador afecta más la calidad?

El entregar un producto terminado con un defecto físico, faltante de material, sobrante de material o que no funcione.

- ¿Cuál variable del proceso parece afectar más a esos indicadores?

Definitivamente la mano de obra comprende uno de los factores que se determinaron a analizar y mejorar para lograr la reducción de desperdicios.

- ¿Es aceptable la habilidad para medir y detectar?

Como se es conocido, los inspectores de calidad realizan un muestreo con una cantidad determinada por el plan de muestreo que proporciona la empresa, por lo cual, se comprende que

el material no es inspeccionado al 100% por los inspectores de calidad, pero sí debería de ser inspeccionado por los operadores de la línea de producción. La aplicación del proyecto ayuda y comprende una manera aceptable para la medición de material defectuoso encontrado en las diferentes líneas y ayuda a determinar la cantidad de PPM's en la planta, lo que determina el nivel de riesgo que contiene la empresa.

- ¿Cómo funciona el proceso actualmente?

La inspección de empaque consta de abrir la caja donde el material ya se encuentra listo para su liberación, que se encuentra sellado y encima de una tarima; comprende el sacar la pieza, realizar una inspección visual de su contenido y su perfecto estado. Si la pieza no se le encuentra defecto, se anota en el formato que se liberó la cantidad de piezas; si se encuentra un defecto, se anota la cantidad del muestreo hecho por el inspector, se anota la cantidad de piezas detectadas en el muestreo y se anota el defecto.

- ¿Qué tan bueno sería mi proceso si corriera adecuadamente?

Se plantea la reducción de material defectuoso y aumentar la productividad de la planta y los productos finales entregados a cliente.

A = Analizar

Esta etapa comprende el analizar la recopilación de datos capturados en la base de datos de Excel, en los cuales los inspectores de calidad se encontraban liberando órdenes y detectando fallas en el proceso de empaque de sus respectivas líneas. El analizar ayuda a establecer oportunidades de mejora al tener todos los datos, este caso, el apoyar a los inspectores de calidad por medio de capacitaciones informales orientándolos hacia la detección de fallos del proceso y fallos en la captura de datos, esto para mejorar la calidad de información transmitida. Al recopilar los datos y realizar una selección de información se comienza con la interpretación de datos, el cual son manejados por diferentes niveles de gráficos de Pareto los cuales ayudan a detectar la causa raíz de los problemas causados por los productos defectuosos.

A continuación, se presentan y explican los siguientes gráficos utilizados en el reporte de Rechazos de Calidad:

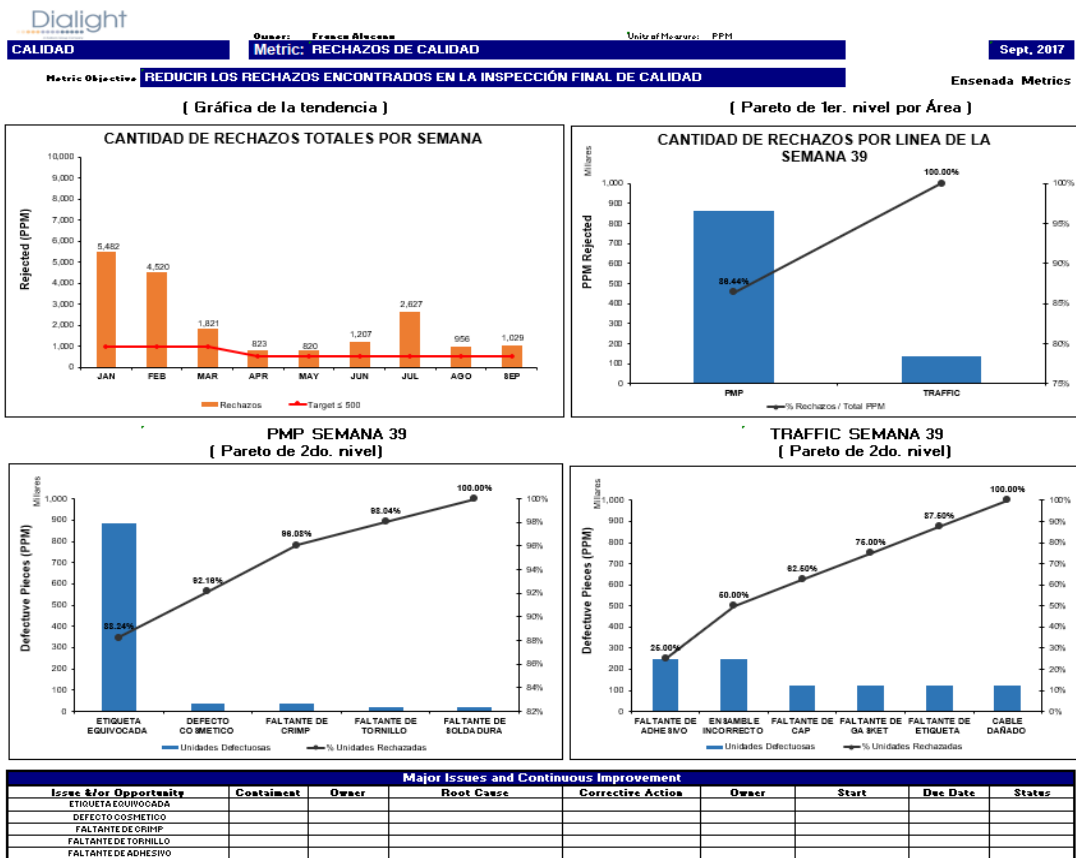


Figura 4.6. Presentación Visual del reporte OUTGOING QA.

La presentación visual del reporte (Figura 4.6) trata de presentar de manera gráfica el estado de resultados de los PPMs conforme a las semanas transcurridas hasta la semana actual. Se explicará a detalle cada uno de los cuatro gráficos presentados.

El métrico de “Cantidad de Rechazos totales por semana” nos permite identificar una tendencia en el cual muestran la cantidad de PPMs generados en los meses anteriores y en el mes actual pero desglosado por sus semanas. Se estableció un límite el cual es el indicador que alerta si los PPM’s se encuentran críticos y permite el manejar la información de una manera visual para lograr un enfoque en la búsqueda de una acción correctiva (Figura 4.7).

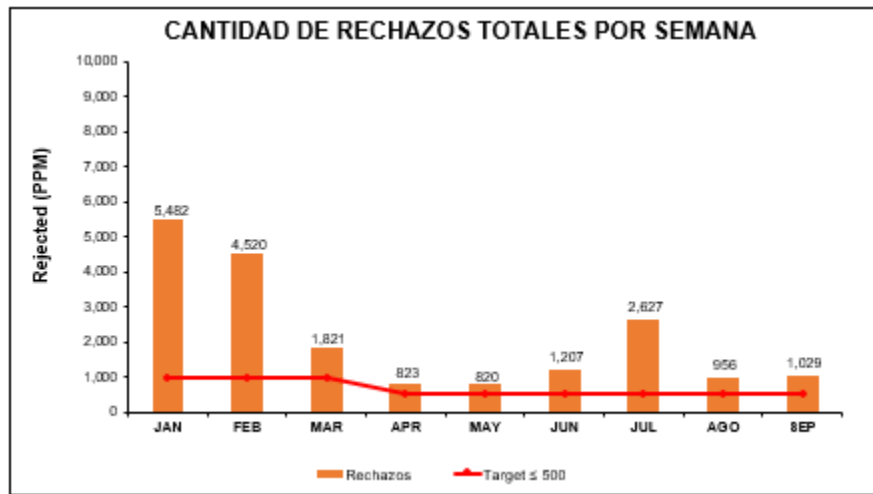


Figura 4.7. Cantidad de Rechazos Totales por semana (Tendencia Mensual)

Al realizar el análisis en el métrico y percibir el estado de la semana anterior se procede a realizar un Pareto de primer nivel (Figura 4.8), en el cual se desglosa en las diferentes líneas que se encuentran dentro de la planta y donde se detectaron los diferentes fallos de proceso que llegaron hasta el área de empaque en el cual se calcularon los PPMs por área.

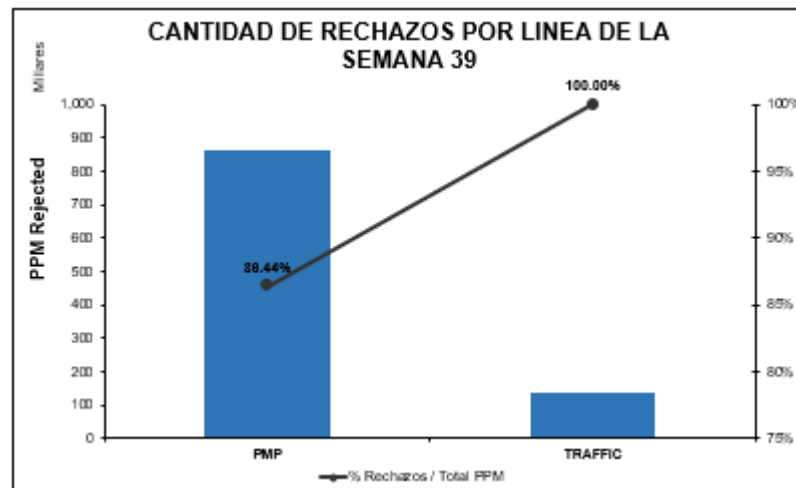


Figura 4.8. Primer nivel de Pareto por área (1st level Pareto by area).

Haciendo mención al principio de Pareto el cual indica que el 20% de los defectos afectan el 80% de los procesos se realiza un análisis de las áreas con mayor tendencia (mayor porcentaje) para verificar

cuales son las fallas que se presentan. A continuación, se presenta el análisis del segundo nivel de Pareto, en el cual se hace mención a las dos áreas con mayor tendencia para realizar un desglose de los causantes de obtener un alto PPMs. (ver figuras 4.9 y 4.10)

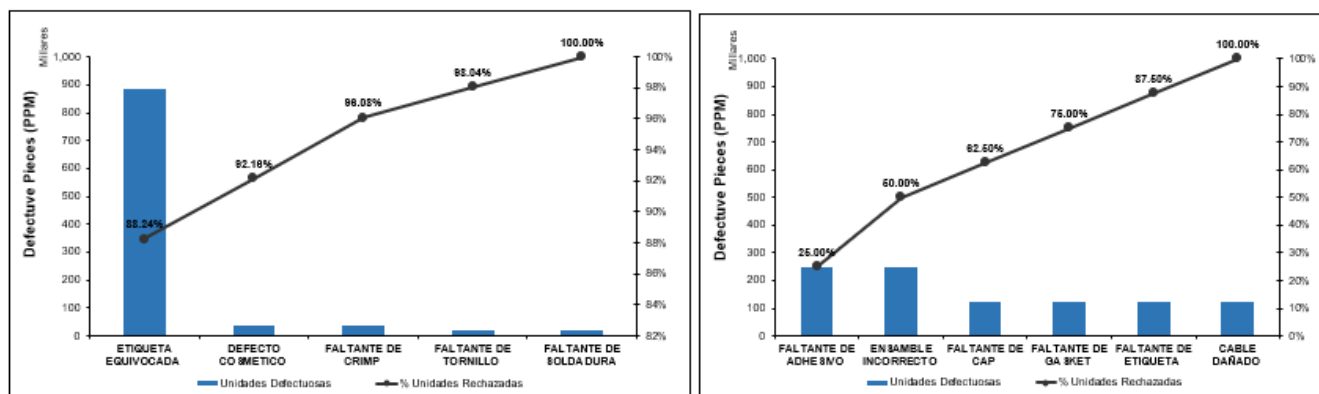


Figura 4.9 y 4.10: Segundo nivel de Pareto: Defectos detectados por áreas en tendencia.

Las preguntas por realizar en la etapa de Análisis incluyen:

- ¿Qué variables del proceso afectan más la calidad y hasta qué punto?

Se ha detectado de una manera constante en que la mano de obra aplicada en los procesos de producción son las que mantienen mayor efecto esto puede ser por falta de capacitación al personal o que no se mantiene informado al personal de los cambios del producto que surgen durante el día. Las variables pueden llegar afectar hasta el punto en que lleguen a empaque, se liberen en ese estado y lleguen en un estado discrepante al cliente.

- Si cambio una variable del proceso, ¿Realmente cambio los indicadores resultantes?

Los cambios realizados (capacitaciones, aplicación de formato, correcta inspección, etc.) han estado ayudando de manera productiva a los indicadores y por ende, a reducir los defectos.

- ¿Cuántas observaciones necesito para sacar conclusiones?

Generalmente las observaciones que se realizaron fueron conforme el paso de las semanas, cuando se generaban los reportes de los rechazos de calidad.

I = Improve (Mejorar)

Se ha trabajado con distintas variables en el proceso tales como:

- Rotación de empleados
- Entrenamiento a los operadores, jefes de línea, supervisores e inspectores de calidad
- Aplicación de ayudas visuales
- Modificación de instrucciones de operación
- Modificación y creación de formatos, entre otras cosas.

En la etapa de mejora es aplicado en el sentido de realizar capacitaciones informales día a día para ayudar a la comprensión del análisis de los defectos a los inspectores de calidad y poder conllevar una comunicación fluida con ellos, ya que es un punto clave para la aplicación del proyecto. Como se dijo con anterioridad, el objetivo del proyecto es la reducción de la salida de material defectuoso.

Las preguntas para la etapa de Mejora incluyen:

- Una vez que se sabe con seguridad que variables del proceso afectan mis indicadores, ¿Cómo implemento los cambios?

Por medio de capacitaciones hacia el personal involucrado, aplicando ayudas visuales para el correcto manejo de material y el correcto ensamble del producto para llegar a tener un producto final en un estado final sin discrepancias.

C = Control

La etapa de control institucionaliza las mejoras y el producto y, monitorea el desempeño actual a fin de obtener las ganancias logradas en la etapa de Mejora. Prácticamente esta etapa consta de aplicar las otras cuatro etapas y mantenerlas, realizando un ciclo para así obtener una aplicación de la mejora continua en los procesos. Las preguntas por realizar en la etapa de control incluyen:

- Una vez reducidos los defectos, ¿Cómo pueden los equipos de trabajo y yo mantener los defectos controlados?

Se planea realizar capacitaciones informales continuas para no influir un costo en un entrenamiento formal. Hacer crecer la capacidad de análisis de inspectores y operadores para la ayuda de detección de defectos en el proceso de producción.

- ¿Qué se debe preparar para mantener el desempeño satisfactorio aun cuando las cosas cambien (personal, tecnología, clientes)?

Se debe tener la base de datos en forma y actualizada, de tal manera que los inspectores puedan realizar una captura correcta de datos. El personal involucrado en las líneas de producción deberá estar enterado de los cambios que sufran los números de parte y los inspectores de calidad deberán estar informados de los puntos críticos de calidad para su posterior análisis al ensamblar la pieza.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

Se sabe que en la industria existen muchos rechazos hormiga, es decir, personal que realiza una operación fallida el cual no se reporta como es debido y no se llega a saber de dicho problema causado en la línea de producción. El cual nos lleva a preguntar ¿desde cuándo ha pasado esa falla en específico y porque el personal no ha brindado la información correspondiente para realizar una acción correctiva?

En varias ocasiones el personal no informa de los problemas que surgen dentro de la línea de producción al creer que se les aplicará una sanción por no realizar una operación correctamente, pero para eso se le brindó un entrenamiento previo, en el cual están al tanto los operadores como a los inspectores de calidad de realizar un monitoreo aleatorio dentro de las líneas de producción para localizar posibles fallas en el proceso.

El no tomar en cuenta el material defectuoso de menor cantidad, este tiende a juntarse y por ende, al generarse en una gran cantidad, es cuando se comienza a detectar que hay presencia de un fallo en la línea y, es cuando el riesgo que se tiene se comienza a convertir en un problema.

El formato de Liberación de producto terminado de la empresa, ayuda a determinar la cantidad de material defectuoso detectado por parte del departamento de calidad para así determinar un nivel de riesgo en la calidad del producto terminado, los indicadores se generan de manera semanal y posteriormente mensual, el cual ayuda a obtener una representación estadística y gráfica de las pérdidas que se han obtenido durante las semanas transcurridas dentro de la planta hablando del proceso de producción de los materiales.

Gracias a los métricos generados semanalmente (ver figura 5.1), los cuales no eran generados antes de ser implementado el presente proyecto, se continuo con las acciones correctivas que éstas fueron la aplicación de capacitaciones para el personal, aplicación de ayudas visuales, capacitación a inspectores de calidad para verificación de piezas, creación de formato de liberación, modificación en las instrucciones de operación para inspectores de calidad y aplicación de métricos de liberación por parte del departamento de calidad.

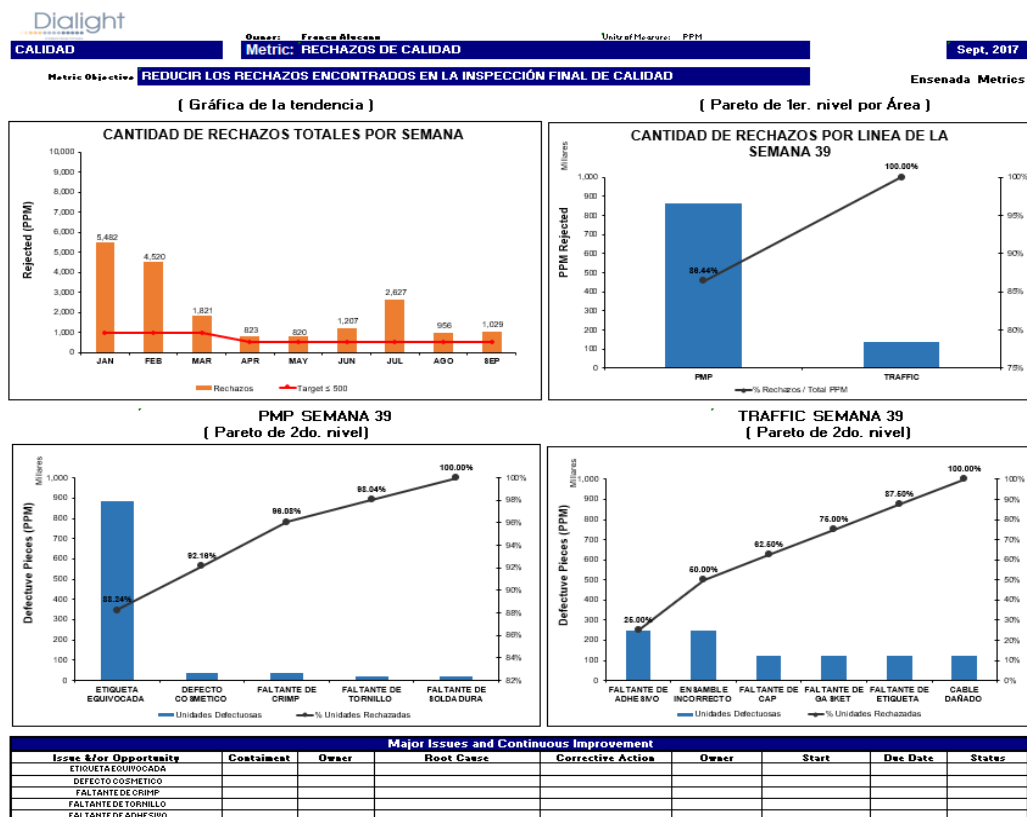


Figura 5.1. Presentación Visual del reporte OUTGOING QA.

CONCLUSIONES

La empresa donde se realizó la mejora contiene una amplia oportunidad de mejora en sus procesos de producción en los cuales los estudiantes de ingeniería industrial pueden llegar a aplicar diferentes metodologías vistas en la teoría aplicándolo en la práctica, que es dentro de la planta. La aplicación del formato de liberación de producto es uno de los proyectos que se han implementado conforme el tiempo que se ha realizado el proyecto de vinculación, en el cual se tomó bastante tiempo. El proyecto y el formato fueron dados de alta por principios del mes de febrero, es decir, el trabajo comenzó desde ese mes, en el cual prácticamente fue brindar capacitación de manera voluntaria y diaria a los inspectores de calidad del primer turno, en el cual se trató de entender los diferentes ensambles que se producen en las diferentes líneas de la planta anteriormente mencionadas. Cada inspector de calidad tiene sus diferentes puntos de vista en los cuales cada uno de ellos obtuvo una conexión cercana de comunicación con su servidor, esto ayuda en el proyecto en un factor clave que es el entendimiento de los defectos del proceso de producción.

Los inspectores de calidad contienen una tabla en el formato en el cual ellos proyectan de manera escrita el defecto que la pieza contuvo a la hora de ser ensamblada. Como representante de dicha información es necesario que se entienda completamente la pieza, el defecto y el problema que esto podría ocasionar, de manera que, la capacitación informal aplicada a los inspectores calidad también fue una capacitación personal para el entendimiento de los diferentes ensambles de las diferentes áreas.

Las capacitaciones informales brindadas a los inspectores de calidad, aparte del entendimiento de los problemas, también era para hacer un muestreo acerca de la información capturada que ellos realizaban. Esto, con el objetivo de determinar que el flujo de información estuviera de manera correcta y concreta para así poder lograr un buen indicador del proceso. Los procesos de producción mejoraron y el flujo de producción aumentó, por la implementación de ayudas visuales y capacitación al personal.

Los métricos de calidad realizados por el formato de liberación de producto, los cuales son indicadores de las partes por millón que son generadas en producción ayudan a detectar las áreas con mayor tendencia en cuanto los productos defectuosos y la baja calidad de mano de obra, uno de los grandes indicadores de las fallas de proceso.

Con la metodología DMAIC orientada al artículo publicado por Subramaniam Manivannan en 2007 ayuda a construir un par de preguntas acerca de cada etapa en el proceso en los cuales no son reglas a seguir, si no, una guía y preguntas clave que se podrían presentar en el campo de trabajo. Gracias a ello, el objetivo logrado de la aplicación de una buena liberación de producto, de una buena inspección, de un buen indicador fue el detectar a tiempo las fallas de proceso, evitarlas, aplicar acciones preventivas y obtener una reducción de los PPM's generados.

Podemos decir que los métricos generados por el formato permiten obtener una idea visual del estado de los procesos de fabricación de producto y verificar en que se puede aplicar una mejora continua en la planta.

RECOMENDACIONES

La metodología DMAIC es una de las herramientas más importantes de SS, lo cual se debe tener un conocimiento previo para ser aplicado. El interés de aplicar DMAIC es para realizar comúnmente una mejora a un proceso ya establecido. El primer paso de este análisis es Definir en el cual el equipo de trabajo deberá describir específicamente el problema a analizar. Al definir el problema la fase de Medición ayudará a determinar la causa raíz del problema, una de las etapas más importantes para la mejora continua y que da paso a la etapa de Análisis en el cual ya determinamos claramente el problema a tratar.

Como recomendación se dice que hay que tener un equipo de trabajo el cual permita analizar el problema a tratar y encontrar la solución óptima para la resolución de este.

CITAS Y REFERENCIAS

- Jeroen de Mast n, Joran Lokkerbol, 2012. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problema solving, Int J. Production Economics, 139, 604-614.
- Jared R. Ocampo, Juan Carlos Hernández-Matías, Antonio Vizán, (2017). A method for estimating the influence of advanced manufacturing tools on the manufacturing competitiveness of Maquiladoras in the apparel industry in Central America, Computers in Industry, 87, 31-51.
- Duncan Manual (2006), Six Sigma Methodology: reducing defects in business processes, Filtration+separation, 34-36.
- Lars Krogstie, Kristian Martinsen, (2013). Beyond Lean and Six Sigma; cross-collaborative improvement of tolerances and process variations – a case study, Procedia CIRP, 7, 610-615.
- ChiaJou Lin, F.FrankChen, Hung-daWan, YuhMinChen, GlennKuriger (2013). Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 29, 95-103.
- Pavol Gejdos, (2015). Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control, Procedia Economics and Finance. 34, 565-572.
- Ignatio Madanhire, Chales Mbohwa, (2016). Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country, Procedia CIRP, 40, 580-583.
- Gasper Skulj, Rok Vrabic, Peter Butala, Alojzlj Sluga, (2013). Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study, Procedia CIRP, 7, 401-406.
- Sahno Jevgeni, Shevtshenki Eduard, Zanharov Roman, (2015). Framework for Continuous Improvement of Production Processes and Product Throughput, Procedia Engineering, 100, 511-519.
- Eirin Lodgaard, Jonas A. Ingvaldsen, Silje Aschehoug, Inger Gamme, (2016). Barriers to continuous improvement: perceptions of top managers, middle managers and workers, Procedia CIRP, 41, 1119-1124.
- Halvor Holtskog, (2013). Continuous Improvement beyond the Lean understanding, Procedia CIRP, 7, 575-579.

- Ole Hoem, Eirin Lodgaard, (2016). Model for supporting lasting managerial efforts in continuous improvement: A case study in product engineering, *Procedia CIRP*, 50, 38-43.
- Miroslava Mílkva, Vanessa Prajová, Boris Yakimovich, Alexander Korshunov, Ivan Tyurin, (2016). Standardization – one of the tools of continuous improvement, *Procedia Engineering*, 149, 329-332.
- Hicham Jabrouni, Bernard Kamsu-Foguem, Laurent Geneste, Christophe Vaysse, (2011). Continuous improvement through knowledge-guided analysis in experience feedback, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24, 1419-1431.
- Adrian Pugnaa, Romeo Negrea, Serban Miclea, (2016). Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 221, 308-316.
- Introducción a Seis Sigma, Año 2007, Web Site: [Http://mexico.pma.org](http://mexico.pma.org), fecha de recuperación 2007
- Alberto Galgano. (1995). Los siete instrumentos de la calidad total. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
- Francisco Nahum Múnera Vásquez. (2007). Reflexiones para implementar un sistema de gestión de calidad (ISO 9001:2000) en cooperativas y empresas de economía solidaria. Bogotá: Educc.
- IPC Task Group. (2005). IPC-A-610D SP. Lakeside Drive, Bannockburn: ANSI.
- Sarv Singh Soin. (2011). Control de calidad total. Cd. de México: McGraw Hill.
- Juran, Joseph, Frank M. Gryna y R. S. Bingam. *Quality Control Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1951.
- Feigenbaum, A. V. *Total Quality Control*. Singapur: McGraw-Hill, 1986.
- Kume, Hitoshi. "Business Management and Quality Cost, The Japanese View". *Quality Progress*, abril de 1985.
- Deming, W. Edward. *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.
- Cantú, J. (Enero del 2000). Desarrollo de una cultura de calidad (4a. ed.). México D.F. McGraw-Hill Interamericana. pp.3-6.

- Cantú, J. (Enero del 2000). Desarrollo de una cultura de calidad (4a. ed.). México D.F. McGraw-Hill Interamericana. pp.70-73.
- Bertrand, L., & Prabhakar, M. (Febrero 1990). Control de Calidad Teoría y Aplicaciones. Madrid, España. Díaz de Santos, S. A. pp.2-15.
- Gryna, F. Chua, R., & Defeo, J. (Enero del 2000). Análisis y planeación de la calidad. Método Juran (5a. ed.). México D.F. McGraw-Hill Interamericana. pp.12-16.
- Gutiérrez, P., & Gutiérrez, H. (Enero del 2000). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma (3a. ed.). México D.F. McGraw-Hill Interamericana.
- Gutiérrez, P., & Gutiérrez, H. (Enero del 2000). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma (3a. ed.). México D.F. McGraw-Hill Interamericana. pp.115-118.